



Disseny d'una Unitat d'injecció de Termoplàstics

Per la producció d'accessoris d'automoció.

Assignatura: Projecte Final de Carrera.

Ensenyament: Enginyeria de Materials.


Tutor: Santiago Suriñach i Cornet

Alumne: Roger Gruas Giron.

El sotasignat, en Santiago Suriñach i Cornet, fa constar que ha fet el seguiment des dels seus inicis, mitjançant tutories, del projecte de fi de carrera concloent a la titulació d'Enginyeria de Materials amb el títol "*Disseny d'una unitat d'injecció de termoplàstics per la producció d'accessoris d'automoció*" de l'alumne **Roger Gruas Giron**.

Al mateix temps, considerant que és apte, autoritza la seva presentació i posterior defensa.

I per que així consti, signa la present, a Cerdanyola del Vallès, a 13 de juny de 2008.



Santiago Suriñach

Organisme : Universitat Autònoma de Barcelona

Autor:

- [Roger Gruas Giron: Alumne de la titulació d'Enginyeria de Materials.](#)

Tutor:

- [Dr. Santiago Suriñach y Cornet.](#)

Duració: Juny 2007 - Juny 2008

Resum:

L'objectiu d'aquest projecte és el desenvolupament i avaluació dels paràmetres més importants per dissenyar una planta de producció de components termoplàstics per produir accessoris d'automoció.

Aquest projecte avaluarà la viabilitat real que pot tenir iniciatives com la nostra, en una comarca de gran tradició en la indústria de transformació de components plàstics com és la comarca del Alt Camp (Tarragona).

- Definirem i calcularem les necessitats de refrigeració de les nostres unitats de P producció. Això anirà seguit de càlculs necessaris per transportar la matèria prima.
- Farem una justificació espacial i dimensional de la nostra planta.
- Descriurem com és un procés real d'injecció i veurem els passos necessaris per generar un bon disseny de motlle.
- Introduïrem les noves tècniques de simulació reològica prèvies a la posta en marxa del procés
- Farem una avaluació econòmica relacionada amb primers punts de la memòria que descriuen la gran deslocalització a la qual està sotmès aquest negoci.
- Expressió gràfica de la planta

Signat:



Roger Gruas Giron

Madrid a: 22 de Juny, 2008

Index

1. Agraïments.....	pag 2
2. Resum.....	pag 2
2.1.Objectiu del Projecte.....	pag.2
2.2.Abast del Projecte.....	pag.2
2.3.Justificació.....	pag.2
2.4.Necessitat del Projecte.	pag.3
2.5.Bases del Disseny i diagrama de flux.....	pag.4
3. Rol dels Participants.....	pag.4
4. Descripció del Projecte.....	pag.4
4.1. Matèria prima.....	pag.4
4.2., El Procés d'injecció de termoplàstics.....	pag.8
4.2.1. Tolva d'alimentació.....	pag.8
4.2.2. Barril o Canó.....	pag.8
4.2.3. Husillo.....	pag.9
4.2.4. Longitud.....	pag.12
4.2.5. Diametre.....	pag.13
4.2.6. Bases de disseny i dimensionat.....	pag.13
4.2.7 Selecció del material.....	pag.14
4.3. Disseny de l'instal·lació.....	pag.17

4.2.7	Requisits i distribució de l'emplaçament.....	pag.14
5.	Disseny del sistema de refrigeració.....	pag.20
5.1.	Disseny d'equips instruments i canonades.....	pag.22
5.1.1.	Taula de resultats del circuit de les màquines.....	pag.23
5.1.2.	Taula de resultats del circuit de motlles.....	pag.29
6.	Disseny i estudi reològic.....	pag.33
6.1.	Disseny de Motlle i Peça.....	pag.33
6.1.1.	Estàndards de qualitat.....	pag.33
6.1.2.	Construcció del motlle.....	pag.34
6.1.3.	Sistema de refrigeració.....	pag.35
6.2.	Estudi reològic de la peça.....	pag.37
6.2.1.	Temps d'injecció.....	pag.38
6.2.2.	Refrigeració del motlle.....	pag.39
6.2.3.	Contracció volumètrica.....	pag.40
7.	Teoria del transport hidràulic de sòlids.....	pag.42
7.1.	Introducció.....	pag.42
7.2.	Avantatges i desavantages del transport pneumàtic.....	pag.42
7.3.	Elements del sistema de transport.....	pag.42
7.3.1.	Transport pneumàtic de sòlids en fase densa.....	pag.44
7.3.2.	Determinació de la canonada, velocitat i pressió de treball.....	pag. 47
7.4.	Càlculs del sistema de transport de sòlids.....	pag.49

8. Viabilitat Econòmica de l'activitat.....	pag.53
8.1. Selecció de l'enclavament.....	pag.53
8.1.1. Pressupost i inversió inicial.....	pag.55
9. Planificació de les tasques.....	pag.60
10. Conclusió.....	pag.61
11. Bibliografia.....	pag.62
12. Apendix.....	pag.63
12.1. A.1 Càlculs de transport pneumàtic (Mètode de Hinkle).....	pag.63
12.1.1. Càlcul per canonades de 3".....	pag.63
12.1.2. Càlcul per canonades de 2 ½".....	pag.66
12.1.3. Mètode de Hinkle.....	pag.70
12.2. A.2 Planols.....	pag.72

1. Agraïments.

A tots aquells que m'han donat suport durant la realització d'aquest treball.

2. Resum.

2.1.Objectiu del Projecte.

L'objectiu del projecte és el disseny d'una planta de producció de termoplàstics a la comarca de l'Alt Camp.

2.2.Abast del Projecte.

Dins del projecte s'avaluaran diferents àmbits com són: el disseny del procés, disseny de la planta, dimensionament de l'espai, diferents aspectes relacionats amb el disseny de la producció i la viabilitat econòmica, s'ha considerat fora del abast del projecte temes d'obra civil.

2.3.Justificació.

El mercat espanyol d'automoció, és un mercat força peculiar, tota la producció pertany a grans multinacionals estrangeres. Durant aquests últims anys hi ha hagut una baixada de ventes i matriculacions de vehicles degut a la pujada de preus de les matèries primes. Per això molts fabricants i subministradors han deslocalitzat les seves produccions cap a països on la ma d'obra és més barata.

Si volem mantenir la quota de producció dins del nostre territori haurem de començar a construir cotxes de gama alta, on la producció d'aquests s'havia centrat als països d'origen de les empreses, les qual cosa exigeix una ma d'obra qualificada i especialitzada .

La nostra proposta, és la creació d'una planta de producció de components termoplàstics mitjançant el procés d'injecció. Volem crear una resposta a la recent fugida de producció a mercats exteriors com es l'asiàtic. La nostra serà una resposta a la falta de qualitat actual del sector i les variacions productives, tot això avalat per la qualitat del nostre procés y de l'alta qualificació de la gent que es contractaria per operar la planta [ref.1].

2.4.Necessitat del Projecte.

El nostre projecte es troba en la part final de la cadena de transformació de la matèria primera. Concretament l'etapa de conformat del polipropilè.

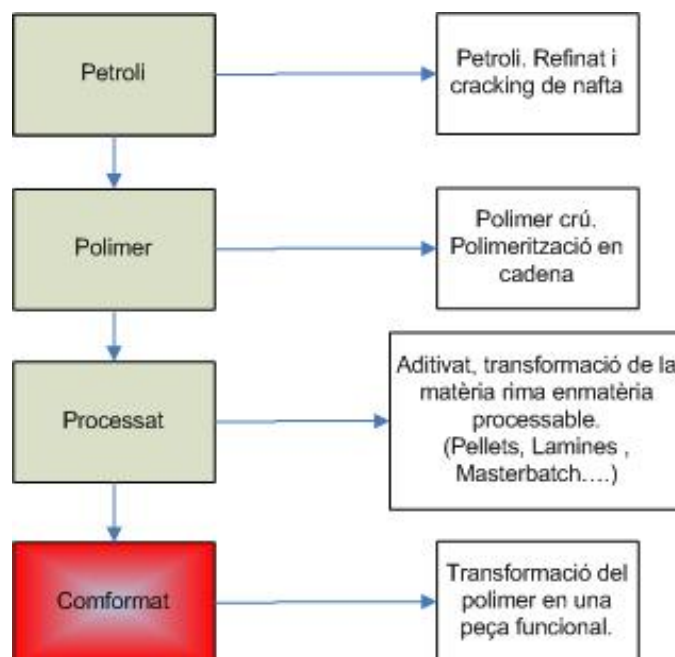


Figura 1 Procés de transformació de la matèria primera.

2.5. Bases del Disseny i diagrama de flux.

Tal i com hem dit en el punt anterior, la nostra planta no només serà un centre productiu sinó que una part es dedicarà a la millora continua dels processos.

L'estudi reològic de processos serà una de les activitats de les quals s'obtindrà més valor afegit. El nostre servei per empreses externes serà una consultoria industrial on totes les consultes i estudis de millora estaran tarifats a un preu competitiu tant pel client com per la nostra activitat.

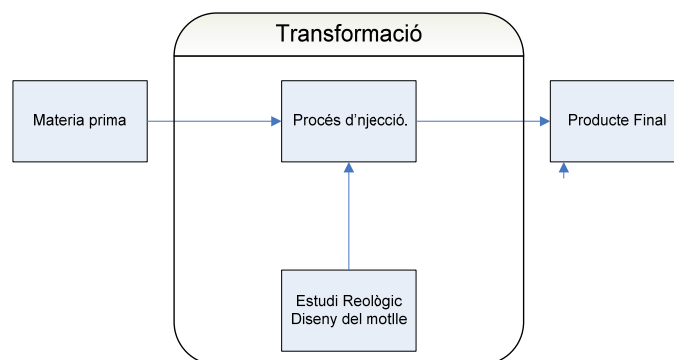


Figura 2. Diagrama de flux de la planta.

3. Rol dels Participants

Director de projecte: Roger Gruas Giron.

Enginyer de Processos: Roger Gruas Giron

4. Descripció del Projecte.

4.1. Matèria primera.

La popularitat del polipropilè ha generat una gran demanda entre els transformadors durant la última dècada. Desde 1994 el polipropilè ja s'utilitza més que el polietilè de baixa densitat, que fins llavors era el més emprat. Actualment, la demanda de polipropilè es situa en unes 6 MT/any mentre que la de polietilè de baixa densitat està estabilitzat en prop de 4 MT/any.

Las previsiones apunten que la demanda de polipropilè a Europa serà de 9 MT/any, quasi triplicant la demanda de polietilè de baixa densitat.

El consum de Polipropilè com matèria primera dins del sector del automòvil espanyol és d'un 24%, el més elevat. Després venen les fibres i filaments, amb el 18%, les peces industrials amb el 10%, films amb el 9% i peces d'ús comú amb un 9%. Aquesta separació de les aplicacions del polipropilè, destaca dinsdel sector de l'automoció. Mostrant que Espanya es un dels grans productors de components d'automoció a Europa, l'ús del polipropilè en l'automòbil s'està extenent però encara es massa depenen del preu del barril de petroli i les naftes lleugeres. En termes generals, el polipropilè guanya terreny en les aplicacions tècniques, substituint a plàstics d'enginyeria, i en aplicacions de gran consum, com poden ser els envasos. Gran part dels arguments anteriormet descrits venen donats a les seves propietats mecàniques.

	PP Homopolimer	PP Copolimer	LDPE	HDPE
Mòdul elàstic (MPa)	1,1 a 1,6	0,7 a 1,4	200	10
Allargament a ruptura (%)	10 a 60	45 a 90	20	12
Temp. màxima d'ús (°C)	100	100	80	10
Carga a la ruptura (MPa)	31 a 42	28 a 38	8,0-10	20
Duresa	72 a 74	67 a 73		

Taula 1. Comparativa entre alguns polímers mes utilitzats.

Si mirem detalladament els valors de la taula 1, podem observar que el polipropilè té unes propietats mecàniques superiors a un dels seus competidors directes com és el Polietilè, sobretot si mirem els valors límits de tracció. A més a més de les propietats anteriorment mostrades s'ha d'afegir també que el polipropilè presenta un dels percentatges d'allargament més gran de la família termoplàstics. Si observem els valors de duresa i temperatura de treball aquests són molt propers a termoplàstics com el PET, HDPE i el PVC, el qual mostra uns valors acceptables per assolir les funcions a les quals hem de treballar.

Si parlem en termes econòmics el polipropilè no deixa de ser una molt bona opció respecte d'altres materials termoplàstics.

	Var. actual. (Eur/ton)	Var. 4 Semanes (Eur/ton)	Preu estimat actual (\$/lb).
PP homopolímer	1250-1270	1240-1260	77.59-78.83
HDPE	1250-1260	1250-1260	77.59-78.21
PET	1390-1480	1902-2025	--
Estirè	1363-1445	1493-1551	--
PVC	1413-1479	1399-1508	--

Taula 2. Estimació dels preus de la matèria prima.

Si mirem la taula 2 observarem que el preu de la matèria primera és un dels més econòmics del mercat si ho comparem amb la cotització d'altres matèries primeres. Dins d'aquest apartat també comentarem que el preu fixat de les matèries primes és molt depenent de la cotització del preu del barril de petroli, motiu pel qual el preu dels plàstics ha augmentat molt la seva cotització en el que portem d'any, factor que encareix enormement el procés de transformació. Prova d'aquest fet, va ser la desacceleració produïda l'any 2005 amb les xifres de consum d'aquestes matèries primeres. Aquest fet s'observa en la següent taula.

Consumo real estimado en el mercado de automoción Expresado en toneladas métricas		
	2004	2005
<i>Piezas varias</i>	154.000	143.740
<i>Baterías</i>	13.100	13.000
Total Polipropileno	167.100	156.740
<hr/>		
<i>Espumas rígidas (Camiones y Barcos)</i>	9.450	8.850
<i>Espumas semi-rígidas (Parachoques)</i>	3.200	3.000
<i>Espumas flexibles: Piezas cortadas</i>	1.288	1.200
<i>moldeado en frío</i>	23.992	23.700
<i>moldeado en caliente</i>	6.079	6.000
<i>Integral</i>	3.820	3.700
<i>Durómetros</i>	400	380
Total Poliuretano	48.229	46.830
<hr/>		
<i>Automóvil</i>	5.500	5.000
<i>Ferrocarril y Metro</i>	4.500	4.500
<i>Camiones y containers</i>	5.500	5.500
<i>Naval</i>	5.000	5.000
Total Poliésteres insaturados	20.500	20.000
<hr/>		
<i>Recubrimientos interiores</i>	3.900	3.500
<i>Separadores batería</i>	750	700
<i>Piezas varias</i>	6.000	5.500
<i>Perfiles</i>	1.600	1.500
<i>Masillas</i>	9.600	8.700
Total Policloruro de vinilo	21.850	19.900
<hr/>		
<i>Piezas habitáculo</i>		
<i>Acilonitrilo / butadieno / estireno</i>	17.100	16.000
<hr/>		
<i>Piezas varias</i>	28.630	29.040
<i>Tubos</i>	410	410
Total Poliamidas	29.040	29.450
<hr/>		
<i>Depósitos gasolina</i>	24.500	23.500
<i>Otras piezas</i>	1.436	1.534
Total Polietileno alta densidad	25.936	25.034

Taula 3. Disminució del consum de matèries primes en el mercat de l'automoció.

4.2. El Procés d'injecció de termoplàstics.

En els següents punts farem una descripció dels elements principals que componen una unitat simple d'injecció de plàstics.

4.2.1. Tolva d'alimentació

La tolva és el dipòsit on s'emmagatzemen els pellets de matèria prima per abastir d'una manera continua la unitat extrusora. Ha de tenir unes dimensions adequades per ser completament funcional. Dissenys erronis principalment en els angles d'entrada poden provocar estancaments de material. Moltes vegades solucionem aquests problemes amb l'instal·lació d'un sistema de vibració que en el nostre cas no serà necessari perquè el material d'alimentació que utilitzarem seran "pellets" de polipropilè (no són abrasius).

En sistemes d'injecció de plàstics és molt comú la utilització de deshumidificadors de matèria prima. En el nostre cas el sistema d'abastiment a les tolves és farà per mitjançant processos neumàtics concretament amb unes bufadores, les quals no generen problemes d'humitat dins del material ja que aquest es troba confinat dins d'un conducte. Hauriem pogut escollir altres mitjants de dosificació com són els basats en reguladors electromagnètics però econòmicament es fan inviables en el nostre tipus de producció, degut al seu gran cost econòmic. Ens fixarem més en possibles degradacions que es puguessin produir a l'husillo.

4.2.2. Barril o Canó.

És el cilindre metàl·lic en el qual es troba allotjat l'husillo. El barril ha de tenir el volum adequat. A la vegada ha de ser compatible amb els materials a injectar. És a dir, que tingui una duresa suficient perquè no sigui deteriorat pel material que s'estigui processant.

El disseny en les màquines de injecció contempla l'elecció de l'acer adequat per cada una de les condicions d'injecció elegides. Aquest acers han estat sotmesos a processos d'enduriment i tractaments contra la corrosió.

El canó porta una part de resistències elèctriques les quals proporcionen l'energia tèrmica suficient per completar el procés de injecció. Aquest sistema de resistències en algun dels casos (no serà el nostre) va complementat per un sistema d'arrofredament. Tots aquest sistemes d'escalfament van controlats desde d'un centre de comandament situat al lateral de les màquines de injecció, on s'escolleix el perfil de temperatures més adient per escalfar l'husillo. Aquesta rampa ve determinada pel tipus de material a processar y del tipus d'acabat final.

4.2.3. Husillo

Gracies als intensos estudis de comportament de flux de polímers, els avenços al husillo han augmentat molt degut a la gran expansió de la indústria plàstica, fins al punt d'arribar a ser la part que conté major tecnologia metal·logràfica dins de la màquina de injecció.

És una peça molt susceptible a patir problemes generats per la corrosió i desgast.

Aquests problemes principalment venen produïts per la pressió del procés, el tipus de carga i la natura dels aditius.



Figura 3. Husillo amb defectes.

Per evitar aquestes incidències observades en la figura 3 instal·larem un husillo bimetal·lic d'alta resistència al desgast. Aquest no és més que un cilindre d'acer convencional el qual es sotmés a un procés de centrifugació on rep una aleació de material dur a les parts exteriors del cilindre. La capa centrifugada que s'observa la dreta de la figura 4 té un gruix de 1,5 fins a 2 mm, i finalment es realitza un procés de templat fins aconseguir una duresa de 65 H

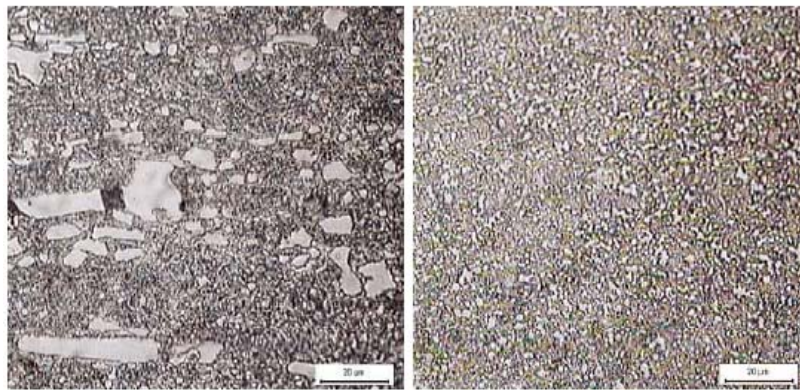


Figura 4. Millora en la microestructura.

La durabilitat del cilindre determina en gran part l'èxit en els processos d'injecció. Les condicions de flux de polímer són molt importants pel bon funcionament de la màquina injectora.

Els alabes que recorren l'husillo d'un extrem a l'altre, són els veritables impulsors de matèria primera a través del extrusor. Les dimensions i formes d'aquests álabes, determinaran el tipus de material que poden processar així com la qualitat de la barreja de la massa un cop surti de l'equip.

Les parts que componen un husillo, es poden observar en la figura.5 La profunditat del filet a la zona de descarga i la dosificació, és molt menor que la profunditat del filet en la zona d'alimentació. Aquesta disminució de profunditat

genera la reducció del volum en el material transportat, que a l'hora exerceix una compressió sobre el material plàstic.

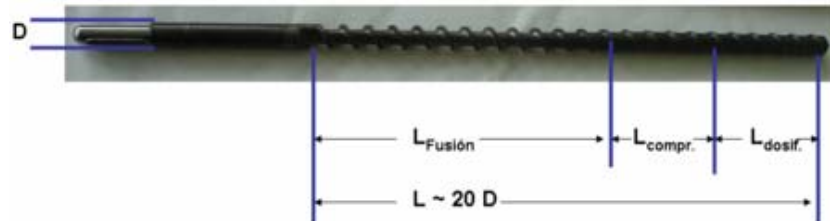


Figura 5. Diferència geomètrica del husillo.

Tal com s'observa en les figures 5 i 6, l'husillo està format per tres zones ben diferenciades, que són :

La zona de dosificació LM que és la part on és transporta i s'homogeneïtza la mezcla, aquí es comencen a eliminar les bombolles d'aire.

La zona de compressió LK, aquí és fon la mezcla i s'acaben de d'eliminar les bombolles d'aire.

La zona d'alimentació LE és genera pressió i plastificació perfecta per poder realitzar la injecció d'una manera constant durant tot el cicle. Per aconseguir un procés òptim serà molt important conservar estable el parametre conegut com relació de compressió.

La relació de compressió s'obté al dividir els diàmetres interior de l'husillo en la zona de descarrega LE i en la zona de dosificació LM. Aquest sempre ha de ser superior a 1 i pot arribar a tenir un valor de 4,5 per processar certs materials.

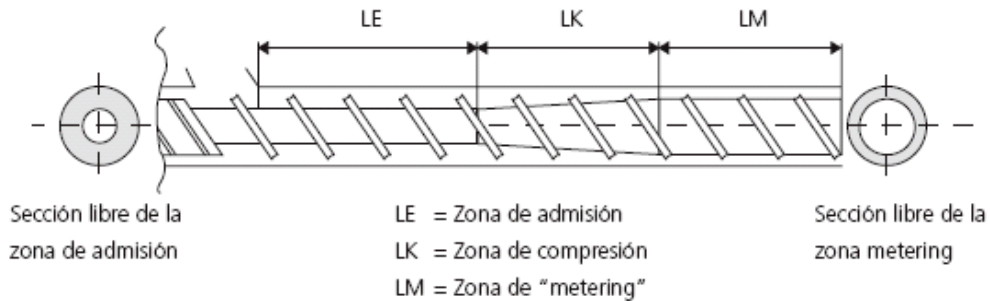


Figura 6. Parts del Husillo.

4.2.4. Longitud

La longitud té una importància especial en el cost i el desenvolupament productiu de la màquina. Funcionalment al augmentar la longitud del husillo i consegüentment la del extrusor, també augmenta la capacitat de plastificació i la productivitat de la màquina. Això significaria que operant, dos injectores extrusores, en les mateixes condicions de revolucions per minut i temperatura però amb diferents longituds, no tindrien la mateixa capacitat de fusió. L'extrusor de major longitud ocuparia una longitud addicional per continuar la plastificació i dosificaria el producte perfectament dins de la longitud del motlle.

Un altre aspecte que es millora al augmentar la longitud, és la qualitat de la mescla i la homogeneïtzació del material. De tal forma que en un extrusor petit la longitud seria suficient per fondre el material i que aquest arribi al final del mateix però el plàstic que obtenim al final es dosifica mal mesclat. En les mateixes condicions, un extrusor major fondrà el material abans d'arribar al final i en l'espai sobrant el seguirà barrejant fins poder fer l'injecció d'una manera homogènea. Tot això és molt important quan s'entreguen materials pigmentats o lots Masters (Master batch) on les cargues i aditius necessiten incorporar-se perfectament al producte.

Aplicación	Relación L/D*	Relación de compresión**	Longitud de zona [%] (LE - LK - LM)
Termoplásticos (general)	20:1	ca. 2:1	60 - 20 - 20
Termoplásticos (general) módulos de cilindro alargados	25:1	ca. 2:1	60 - 20 - 20
Termoplásticos, baja compresión, para materiales sensibles al cizallamiento, por ejemplo PVC	20:1	ca. 1,6:1	50 - 42,5 - 7,5
Termoplásticos, alta compresión, por ejemplo para POM	20:1	ca. 2,4:1	40 - 35 - 25
Elastómeros	14:1	1,5:1 (1:1)	40 - 35 - 25
Termoestables, silicona líquida (LSR)	14:1	1:1	100 - 0 - 0

* diámetro de husillo medio de una unidad de inyección

** Relación de compresión = sección libre de la zona de alimentación / sección libre de la zona de metering

Figura 7. Dimensions del Husillo

Tal com s'indica en la taula anterior, la relació de longituds a escollir serà la que conservi les proporcions de longitud. 60:20:20 obtingudes en la figura 7.

4.2.5. Diàmetre

Aquesta dimensió va directament lligada als punts anteriors. Quan augmentem la longitud, la capacitat de plàstificació (kg/h) serà superior. Al incrementar aquesta dimensió, també ho ha de fer el diàmetre del husillo. Les dimensions longitud i diàmetre van molt relacionades. És costum especificar les dimensions principals del husillo amb una relació longitud/diàmetre (L/D). En el nostre cas, la relació serà de 25-20:1, corresponent a una relació de compressió de 2:1 que ens serà suficient. (figura. 7)

4.2.6. Bases de disseny i dimensionat

El disseny de la planta es dimensiona a partir d'una possible falta d'abastiment d'un component a una de les plantes a les quals volem oferir els serveis.

Si observem les últimes dades del mercat de l'automoció a la planta de Martorell [ref.1], la nostra planta com a mínim ha de ser capaç d'absorbir una producció d'un component corresponent als 384.989 vehicles que SEAT pot produir anualment. Un dels components que exigeixen mes alts nivells productius són els *passos de roda* ja que s'han de fer 4 per vehicle. A més a més hem de partir de la base que l'any industrial consta de 8000 hores.

Assumint les dades del paràgraf anterior, la planta ha de ser capaç de produir 3,33 peces per minut, la qual cosa genera un consum de 4800 kg PP/ dia.

Per respondre als sistemes productius "Just in Time" que tenen els mercats d'automoció haurem de tenir un temps de resposta als nostres clients de dos dies, temps suficient per solucionar possibles problemes d'abastiment així com la reparació completa d'una màquina d'injecció de plàstics.

No només haurem de tenir cura de la capacitat productiva, sinó que a més a més haurem d'habilitar i calcular les dimensions necessàries de l'emplaçament.

4.2.7. Selecció de l'equip i el material

Per escollir les nostres unitats productives hem de tenir en compte, la força mínima que haurà d'exercir la màquina per poder tancar el motlle. Per això haurem de saber els següents paràmetres:

- La matèria primera.
- L'índex de fluïdesa del polímer.
- L'espessor de les peces a produir.
- Àrea axial del motlle.
- La complexitat geomètrica de la peça.

Primer de tot hem de saber el paràmetre anomenat flux de treball, aquest l'hem de trobat a partir de la corba que ens correspongui amb el nostre índex de fluïdesa. El valor de flux el trobem a partir de l'espessor de la peça anteriorment descrit.

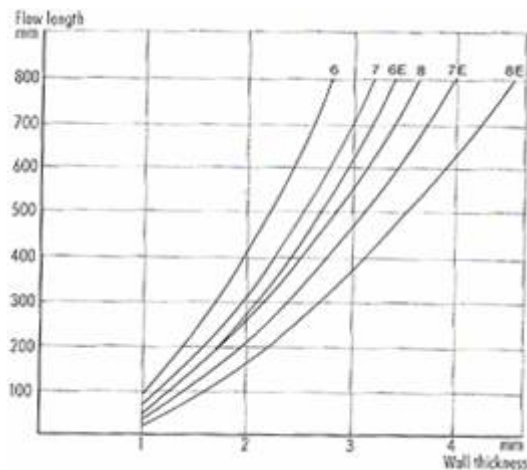


Figura 8. Espesor - Flux.

Un cop haguem trobat l'expressió flux/espessor en la figura 8, escollirem la corba corresponent de la figura 9. En aquesta segona gràfica obtindrem el valor de pressió interna del nostre procés.

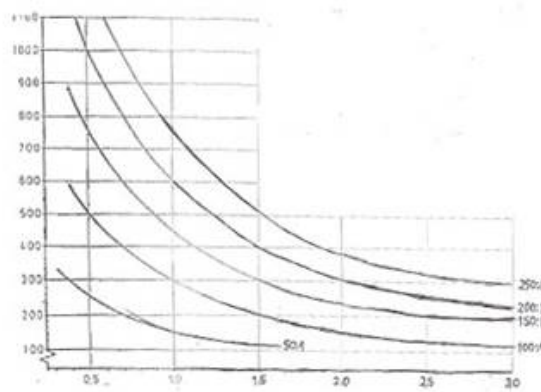


Figura 9. Espesor - Pressió Interna.

Un cop hem trobat la nostra pressió, haurem d'afegir un factor d'un 30% corresponent a la possible dificultat geomètrica.

En el nostre cas, treballarem amb polipropilè aquest es correspondrà amb la corba nº 6 . A més a més, no creiem que les peces d'automoció que nosaltres volguem fer tinguin més de 1,3 mm de gruix. Això ens dona un flux d'uns 200 mm.

Ara ja tenim la relació, que serà de 200:1. Adquirint un criteri conservador trobarem que dins del motlle s'haurà de tenir una pressió interna d'uns 1200 bar, si li afegim el 30 % corresponent a la possible dificultat geomètrica la pressió final serà de ≈ 1600 bar.

Sabem que un del motlles més voluminosos amb els quals podrem treballar seran els motlles corresponents als passos de roda, que tenen una àrea frontal 1600 cm^2 (40 x 40 cm) aproximadament.

$$1600 \text{ cm}^2 \times 1600 \text{ bar} = 2560000 \text{ Kp} = 2500 \text{ TM}$$

Si mirem els càlculs anteriors la nostra màquina haurà de ser capaç d'aplicar un tonatge mínim de 2500 tones.

En la nostra planta posarem màquines de 3000 tones per poder assumir futurs reptes productius . Per escollir les màquines hem de comprovar dos factor determinants:

-La capacitat de plastificació.

-Temps d'injecció per cicle.

Hem escollit com exemples màquines de la casa DEMAG, tecnològicament les més avançades i robustes.

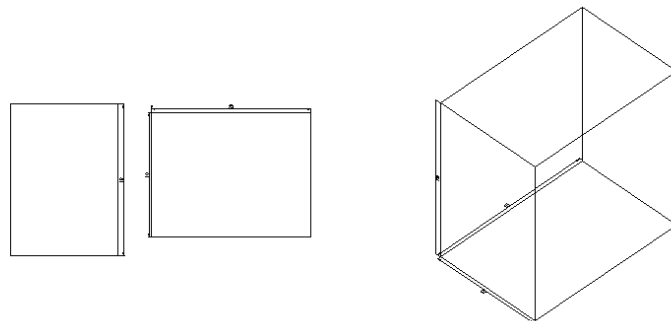
La capacitat de plastificació s'adapta a la nostra producció, podent assumir la producció abans proposada. Això pot condicionar la producció, ens influeix el nombre de màquines a instal·lar ja que el temps necessari per completar un cicle d'injecció

complet de cada màquina és un factor determinant. Aquest serà d'uns 35 segons. Per tant, si en els moments de màxima producció volem assumir una producció de 3,33 peces /minut, haurem de posar tres màquines de la capacitat anteriorment descrita. Ampliable a una quarta màquina segons siguin les necessitats futures.

4.3. Disseny de la instal·lació

4.3.1. Requisits i distribució de l'emplaçament

La quantitat de stock per poder abastir els nostres proveïdors és de 4800 peces/dia per cadascun dels components que siguem capaços de produir. Cadascun dels containers (1 x 1,5 x 150) i caben unes 98 peces. I cadascun dels containers pot acumular fins unes 98 peces. Això ens suposaria tenir un stock d'uns 200 metres cúbics en containers. Si a part d'això suposem que no només estem transformant un component, tal com hem dit abans haurem de ser capaços de produir fins a 4 tipus de peces.



També tindrem en compte que la quantitat màxima de containers que podem acumular és de 4, ens justifiquem d'aquesta manera amb les normatives més avançades en referència a riscos laborals les quals aplicarem en la nostra planta.

L'amplada mínima de la planta la determinarà l'espai necessari per allotjar les 3 màquines d'injecció de 3000 tones que és de 20 x 10 mts.

Per tant l'amplada de la planta serà de 50 metres perquè deixarem un espai de 10 metres entre les dues fileres de màquines. Justifiquem aquest espai perquè el toro pugui passar i maniobrar sense restriccions d'espai. En els següents paràgrafs justifiquem la distribució allargada de la planta que no serà en forma de L.

Tenim dos tipus de distribució aplicables. Ambdós amb avantatges i inconvenients.

Nau en L.

El principal punt a favor seria la necessitat d'un pont grua més petit. Però presenta dos grans inconvenients com són baixa capacitat a l'hora de fer possibles ampliacions i les dificultats afegides que pot presentar perquè augmenten els desplaçaments del toro.

Llarga

Gran capacitat a l'hora d'ampliar la planta perquè només seria necessari modificar un costat de la planta. I només tindria requisits a nivell longitudinal. Però sabem que els cost del pont grua haurà de ser superior ja que l'ample es més elevat.

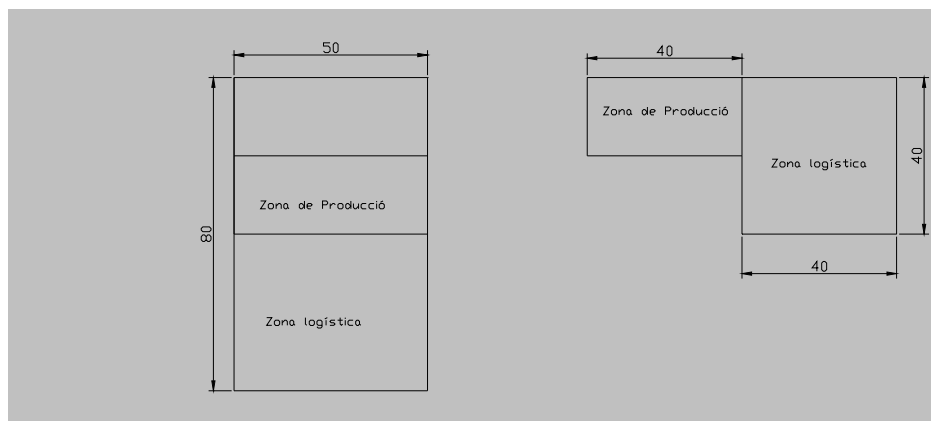
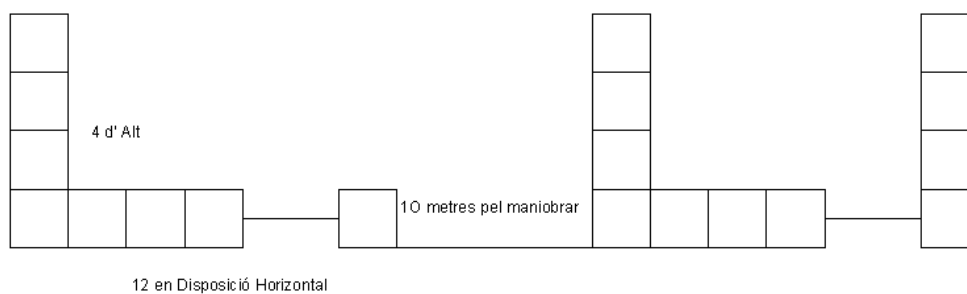


Figura 10. Distribucions de planta (Allargada i en L).

Si observem la distribució de la planta cada planta constarà de 196 contenidors per filera que son els màxims que poden estar amb les dimensions d'amplada i l'alçada anteriorment determinades.

En la següent figura observem les dimensions d'una fila.



La capacitat més important serà poder abastir la producció d'almenys un component de quatre vehicles, que a la vegada també siguin de d'altres plantes properes, ja sigui Ford a València o Opel a Saragossa. Això suposaria haver d'emmagatzemar un stock de fins 800 contenidors a més a més plantejarem la instal·lació d'una nova injectora per abastir necessitats futures si així fos requerit.

Per tant la zona logística constarà de dues files per adequar la producció diària i vuit fileres addicionals per emmagatzemar l'stock mínim necessari. On l'espai mínim entre fileres serà de 5 metres perquè el toro és pugui desplaçar en un sentit determinat.

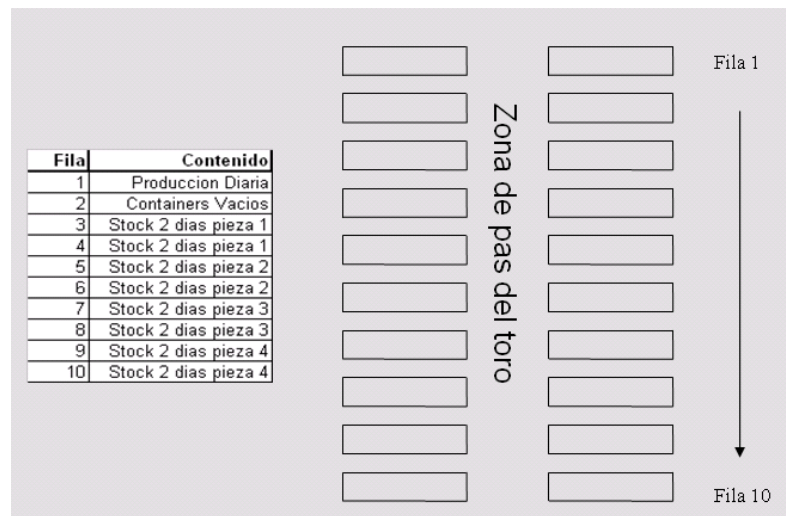


Figura 11. Numero de files.

Si sumem a la longitud de dues màquines d'injecció, una zona posterior d'entrada que constarà d'una secció d'emmagatzemament de motlles i una altra secció d'emmagatzemament de matèria prima. Farà que la longitud de la nostra nau sigui de 80 metres hàbils construïts i sempre cobert ja que la nostra producció pot patir una forta defectologia inadmissible pels nostres clients si aquesta la deixéssim a la intempèrie.

5. Disseny del sistema de refrigeració

La nostra planta de producció necessita un sistema de refrigeració per evacuar tota la calor generada durant el procés. Per dimensionar tot el sistema ha sigut necessari dissenyar dos circuits de refrigeració independents. Aquests són: (1) Sistema de refrigeració de motlles i atemperadors, (2) Sistema de refrigeració de les màquines d'injecció. El circuit de motlles és completament independent del circuit de màquines. Les necessitats d'evacuació del calor són diferents al llarg de procés productiu, cada motlle no té les mateixes necessitats. A més a més durant els processos de canvi de motlle no significa que la màquina deixi de funcionar. Moltes vegades el procés de canvi de motlle pot arribar a ser molt complicat i costós, durant tot aquest procés la

màquina ha de mantenir la mescla de polímer fosa dins de la cavitat d'injecció. Al mateix temps que s'acobra la grua polar al motlle, aquest ha de ser desconectat del circuit de refrigeració propi del motlle on de vegades s'han de desmontar les resistències d'escalfament que mantenen la mescla de polímer fos dins del motlle. Moltes vegades aquest procés pot arribar a ser costós, sobretot en motlles de peces de geometria molt complexa que tenen moltes connexions.

Per dissenyar els circuits de refrigeració s'ha fixat les següents bases per tenir una producció segura i ampliable en un futur.

Per tenir un sistema de refrigeració segur, hem optat per refrigerar les màquines mitjançant un circuit d'aigua amb un sistema de bombeig previst amb dos tancs pulmó, un situat a l'entrada del refrigerador i l'altre situat abans de la bomba d'impulsió del circuit, aquest dos tancs estan connectats a un possible abastiment d'aigua de l'exterior per poder evacuar la calor del procés mentre aquest es porta a parada segura en el pitjor dels casos. Aquests dos tancs seran de volum suficient per albergar una quantitat suficient d'aigua que ens permeti allargar el procés durant un temps determinat.

Per avaluar les necessitats energètiques de la nostra planta ha sigut necessari plantejar els càlculs a partir de dades conegudes en processos i màquines reals. Per tant partim de les dades proporcionades per usuaris del mateix tipus d'instal·lacions properes al nostre enclavament. Aquestes dades les observem a la taula que es mostra a continuació.

Màquina	Potència kW	CA a 15° C	CA a 20° C	CA a 25° C	T cicle (seg)
ET 3000-19000 MaXX	379	210	3000	5000	30
ET 1300 Multi 5200-840	288	127	1600	3000	30
ET 650-5200 EL-EXIS	183	800	1175	1800	30
ET 350-2300 EL-EXIS	173	775	800	1300	30

Figura 12. Consum d'aigua de les màquines. d'injecció. *CA= Consum d'aigua l/h.

Segons les dades de la taula anterior, les màquines de la nostra instal·lació són les corresponents a la màquina de 3000 de marca DEMAG *Tn ET 3000-19000 MaXX* . El

consum aigua d'aquesta màquina és d'uns 3000 l/h. Per dimensionar els valors de la nostra instal·lació hem hagut de tenir en compte que nosaltres podem posar 4 màquines. Segons la experiència adquirida, el 25 % de les necessitat d'evacuació de calor corresponen a la part del motlle. Tal com hem plantejat en la nostra planta, les unitats de producció estaran separades per un passadís anomenat a les nostres referències com "zona de pas de toro".

Per abastir d'aigua de refrigeració en cadascuna de les màquines, s'han hagut de calcular les pèrdues de pressió que hi ha al circuit per poder justificar l'elecció del sistema d'impulsió d'aigua que en el nostre cas seran unes bombes centrífugues. A l'hora de fer el càlcul s'ha adoptat un model de càlcul conservador, assumint que a part de tenir dos tancs pulmó, els càlculs s'han fet calculant que el sistema pugui abastir les necessitats de tota la planta. A més a més, amb aquest plantejament tindrem molta versatilitat a l'hora d'un possible augment de la producció. Aquest model es veu reflectit als càlculs i no als plànols on els dos circuits (motlles i màquines) estan plantejats de manera independent.

Les dues unitats de producció aniran per separat, cada parell de màquines consta d'un circuit de refrigeració: un de motlles, i l'altre per les màquines. Ambdós independents de l'altra línia.

Segons les instruccions de la casa DEMAG ERGOTEG cada màquina d'injecció de 3000 Tones funcionant a ple rendiment, consumeixen unes 5000 kCal/h per cada màquina, i unes 2000 kCal/h per evacuar el calor del motlle. Per plantejar els càlculs hem afegit un marge del 20% aproximadament .

Plantejament de Càlcul	kCal/h
Màquina.	26000
Motlle.	10000

Figura 13. Necessitats calorífiques de les màquines desglossat.

Si aquestes dades les comparem amb els valor aplicats a l'anterior taula. Veiem que els consums aplicats són dades bastant semblants.

5.1.Disseny d'equips instruments i canonades.

Circuit verd : De la màquina injectora a la bomba

Circuit blanc : De la bomba a la màquina injectora

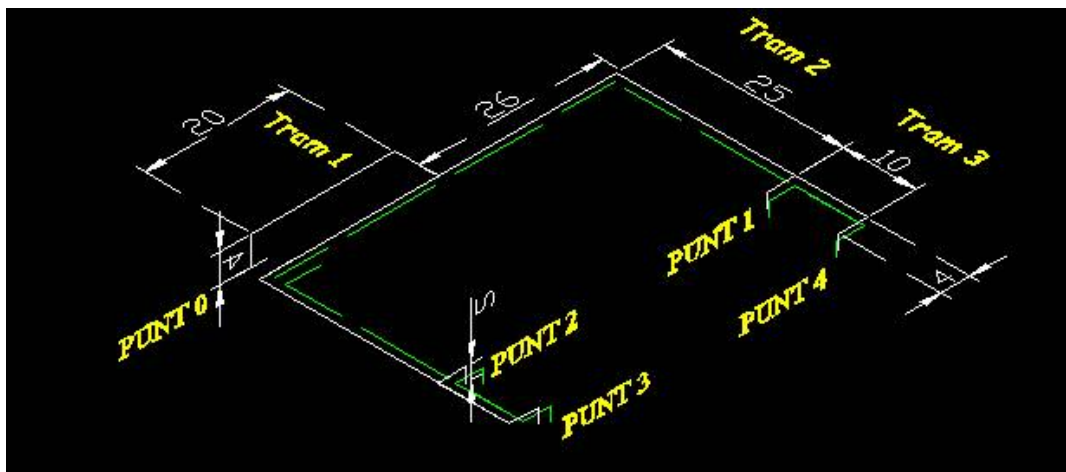


Figura 14. Circuits de refrigeració.

Tram 1

Longitud 25 metres
-3 Colzes de 90°
-1 T bifurcada.

Tram 2

Longitud 50 metres
-1 Colzes de 90°
-1 T lineal

Tram 3

Longitud 16 metres
-2 Colzes de 90°

Figura 15. Trams del circuit.

5.1.1. Taula de resultats del circuit de màquines.

Per realitzar els següents càlculs partim de les necessitats plantejades en el punt 5. En els nostres circuits aplicarem l'equació general de l'energia, aplicada a fluids, la qual mostrem en la figura 16.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_i - h_r = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Figura 16. Equació general de l'energia.

En l'anterior figura volem esbrinar el terme P_1 referent a la pressió que necessitem per abastir al nostre sistema. En aquesta equació també tindrem en compte les velocitats del fluid així com les diferència d'alçada entre la cota d'impulsió i la cota de descarrega. També haurem de calcular les pèrdues lineals y particulars en cada tram aplicades als termes h_i i h_r respectivament.

Els nostres circuits, seran avaluats en 3 trams. En cadascun d'aquests trams analitzarem les pèrdues per separat. En cadascun d'ells tenim cabals diferents per l'existència de bifurcacions.

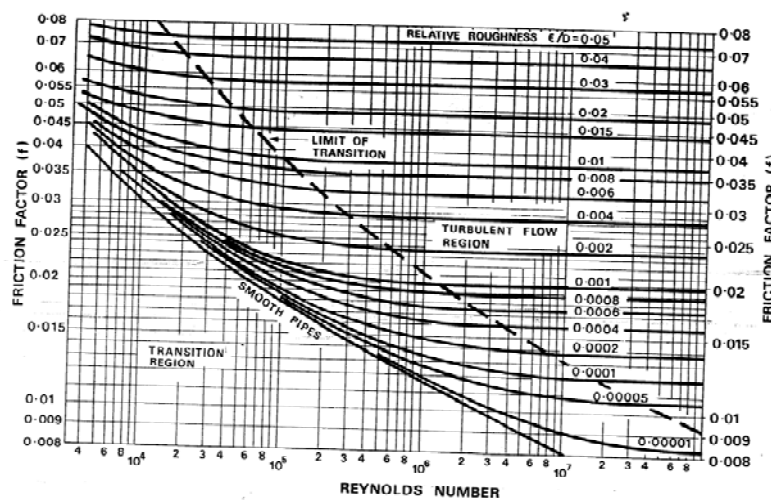


Figura 17. Diagrama de Moody.

Per esbrinar el terme de pèrdues lineals de cada terme haurem d'introduir les següents variables d'entrada en cadascun dels trams: Rugositat del material, longitud del tram, cabal i diàmetre de canonada. Amb aquests valors obtenim el N° de Reynolds (adimensional). Sabent el valor de la rugositat obtindrem el factor de fricció de la figura 17 (diagrama de Moody). Amb aquest valor ja podrem calcular les nostres pèrdues que les entendrem com pèrdues lineals dins del terme h_l .

Per calcular les pèrdues singulars transformarem cadascun dels elements que poden generar pèrdues de carga en longituds equivalents de canonada lineal. Aquests elements poden son: Colzes, vàlvules, bifurcacions.....etc.)

Limits de velocitat

4 a 5

2,5 m/s

Carga calòrica circuit refrigeració	2,60E+05	kcal/h
Cabal d'aigua del circuit de refrigeració	13000	kg/h
DT circuit	20	°C
Cp aigua	1	kcal/kg

TRAM 1

PERDIDAS LINEALES			
Caudal	13	t/h	
Caudal	13,00	m3/h	0,003611 m3/s
Rugosidad (SS 2e-6, CS 4,6e-5)	4,60E-05	m	
Diámetro	2	in	0,0508 m
Área	2,0E-03	m2	
Longitud	30	m	
Viscosidad	0,011	cP	1,1E-08 m2/s
Velocidad	1,78	m/s	
Densidad	1	t/m3	
Reynolds	8,2E+06		
F. Fricción	0,019		
Pérdidas (mcf)	1,84		
PERDIDAS SINGULARES			
	Coeficiente	k	Subtotal
codo 90	3	0,39	1,17
válvula comporta		0,35	0
T lineal		0,19	0
T bifurcades	1	0,8	0,8
Contraccion a 10"			0
			1,97
Pérdidas (mcf)	0,31		
TOTAL			
	2,15	mcf	
	21088	Pa	
	0,22	kg/cm2	
	211	mbar	
	2150,46	mmca	

Taula 4. Perdues de carga en el primer tram.

TRAM 2

PERDIDAS LINEALES			
Diametro aproximado	0,707		
Caudal	6,500	t/h	
Caudal	6,50	m3/h	0,001806 m3/s
Rugosidad (SS 2e-6, CS 4,6e-5)	4,60E-05	m	
Diámetro	1	in	0,0254 m
Área	5,1E-04	m2	
Longitud	51	m	
Viscosidad	0,011	cP	1,1E-08 m2/s
Velocidad	3,56	m/s	
Densidad	1	t/m3	
Reynolds	8,2E+06		
F. Fricción	0,023		
Pérdidas (mcf)	29,73		
PERDIDAS SINGULARES			
	Coeficiente	k	Subtotal
codo 90	2	0,39	0,78
vàlvula comporta		0,35	0
T lineal	1	0,19	0,19
T bifurcades		0,8	0
Contraccion a 10"			0
			0,97
Pérdidas (mcf)	0,62		
TOTAL			
	30,3	mcf	
	297425	Pa	
	3,03	kg/cm2	
	2974	mbar	
	30329,69	mmca	

Taula 5. Perdues de carga en el segon tram.

TRAM 3

PERDIDAS LINEALES			
Diametro aproximado	0,5000		
Caudal	3,250 t/h		
Caudal	3,25 m3/h	0,000903 m3/s	
Rugosidad (SS 2e-6, CS 4,6e-5)	4,60E-05 m		
Diámetro	1 in	0,0254 m	
Área	5,1E-04 m2		
Longitud	2 m		
Viscosidad	0,011 cP	1,1E-08 m2/s	
Velocidad	1,78 m/s		
Densidad	1 t/m3		
Reynolds	4,1E+06		
F. Fricción	0,023		
Pérdidas (mcf)	0,29		
PERDIDAS SINGULARES			
	ud	k	Subtotal
codo 90	1	0,39	0,39
válvula comporta		0,35	0
T lineal		0,19	0
T bifurcades		0,8	0
Contraccion a 10"			0
			0,39
Pérdidas (mcf)	0,06		
TOTAL			
	0,4 mcf		
	3467 Pa		
	0,04 kg/cm2		
	35 mbar		
	353,55 mmca		

Taula 6. Pèrdues de carga en el tercer tram.

TRAM 4	
Pèrdues derivades de màquina.	1000 mbar

Taula 7. Perdues de carga associades a ala màquina.

Requisits bomba	
PERDUES TOTAL	14879 mbar 644,6 m ² /s ²
g(h ₂ -h ₁)	19,62 m ² /s ²
v ₂ ² -v ₁ ²	0
h ₁	2
h ₂	4
Terme d'energies	664,2 m ² /s ²
Pressió al retorn (tanc)	303975 Pa
mcf	98,80
Pa	968211,88 Pa
	9,56 Bar

Taula 8. Resultats del càlcul hidràulic.

Després d'haver calculat les nostres necessitats hidràuliques del circuit de refrigeració de les màquines. Les bombes que s'hauran d'instal·lar hauran de ser poder enviar 26 metres cúbics d'aigua cada hora a una alçada de 98 metres .

5.1.1. Taula de resultats del circuit de motlles..

Carga calòrica circuit refrigeració	1,00E+05 kcal/h
Cabal d'aigua del circuit de refrigeració	5000 kg/h
DT circuit	20 °C
Cp aigua	1 kcal/kg

TRAM 1

PERDIDAS LINEALES			
Caudal	5 t/h		
Caudal	5,00 m3/h	0,001389 m3/s	
Rugosidad (SS 2e-6, CS 4,6e-5)	4,60E-05 m		
Diámetro	2 in	0,0508 m	
Área	2,0E-03 m2		
Longitud	30 m		
Viscosidad	0,011 cP	1,1E-08 m2/s	
Velocidad	0,69 m/s		
Densidad	1 t/m3		
Reynolds	3,2E+06		
F. Fricción	0,019		
Pérdidas (mcf)	0,27		
PERDIDAS SINGULARES			
	ud	k	Subtotal
codo 90	3	0,39	1,17
válvula comporta		0,35	0
T lineal		0,19	0
T bifurcades	1	0,8	0,8
Contraccion a 10"			0
			1,97
Pérdidas (mcf)	0,05		
TOTAL			
	0,32 mcf		
	3127 Pa		
	0,03 kg/cm2		
	31 mbar		
	318,91 mmca		

Taula 9. Pedues de carga en el primer tram.

TRAM 2

PERDIDAS LINEALES			
Diametro aproximado	0,707		
Caudal	2,500 t/h		
Caudal	2,50 m3/h	0,000694 m3/s	
Rugosidad (SS 2e-6, CS 4,6e-5)	4,60E-05 m		
Diámetro	1 in	0,0254 m	
Área	5,1E-04 m2		
Longitud	51 m		
Viscosidad	0,011 cP	1,1E-08 m2/s	
Velocidad	1,37 m/s		
Densidad	1 t/m3		
Reynolds	3,2E+06		
F. Fricción	0,023		
Pérdidas (mcf)	4,40		
PERDIDAS SINGULARES			
	Coeficiente de pérdida	k	Subtotal
codo 90	2	0,39	0,78
vàlvula comporta		0,35	0
T lineal	1	0,19	0,19
T bifurcades		0,8	0
Contraccion a 10"			0
			0,97
Pérdidas (mcf)	0,09		
TOTAL			
	4,5 mcf		
	44062 Pa		
	0,45 kg/cm2		
	441 mbar		
	4493,19 mmca		

Taula 10. Pèrdues de carga en el segon tram.

TRAM 3

PERDIDAS LINEALES			
Diametro aproximado	0,5000		
Caudal	1,250 t/h		
Caudal	1,25 m ³ /h	0,000347 m ³ /s	
Rugosidad (SS 2e-6, CS 4,6e-5)	4,60E-05 m		
Diámetro	1 in	0,0254 m	
Área	5,1E-04 m ²		
Longitud	2 m		
Viscosidad	0,011 cP	1,1E-08 m ² /s	
Velocidad	0,69 m/s		
Densidad	1 t/m ³		
Reynolds	1,6E+06		
F. Fricción	0,023		
Pérdidas (mcf)	0,04		
PERDIDAS SINGULARES			
	ud	k	Subtotal
codo 90	1	0,39	0,39
válvula comporta		0,35	0
T lineal		0,19	0
T bifurcades		0,8	0
Contraccion a 10"			0
			0,39
Pérdidas (mcf)	0,01		
TOTAL			
	0,1 mcf		
	514 Pa		
	0,01 kg/cm ²		
	5 mbar		
	52,43 mmca		

Taula 11. Pèrdues de carga en el tercer tram.

TRAM 4	
Pèrdues derivades de màquina.	1000 mbar

Taula 12. Pèrdues de carga associades a la màquina.

Requisits bomba	
Pèrdues totals	3908 mbar 95,5 m2/s2
$g(h_2-h_1)$ $v_2^2-v_1^2$	19,62 m2/s2 0
h_1 h_2	2 4
Terme d'energies	115,1 m2/s2
Pressió al retorn (tanc)	303975 Pa
mcf	42,77
Pa	419099,29 Pa 4,14 Bar

Taula 13. Resultats de càlcul hidràulic.

Després d'haver calculat les nostres necessitats hidràuliques del circuit de refrigeració de les màquines. Les bombes que instal·larem hauran de poder enviar 5 metres cúbics d'aigua cada hora a una alçada de 43 metres.

6. Disseny i estudi reològic

6.1. Disseny de Motlle i Peça.

6.1.1. Estàndards de qualitat

Per posar en marxa qualsevol procés productiu serà necessari tenir molt clar quin tipus de peces hem de produir. El client, en el nostre cas les empreses d'automoció ens haurà de facilitar dos tipus de model de peces que haurem de produir. El primer dels models serà un format gràfic com el que tenim en la figura 5, per dissenyar el motlle i una peça real hem de fixar els estàndards de qualitat de les nostres peces, i tenir un referent a l'hora de produir les nostres peces.

Prèviament a la producció el client establirà els criteris de qualitat necessaris, i fixarà les toleràncies mínimes d'acceptació.

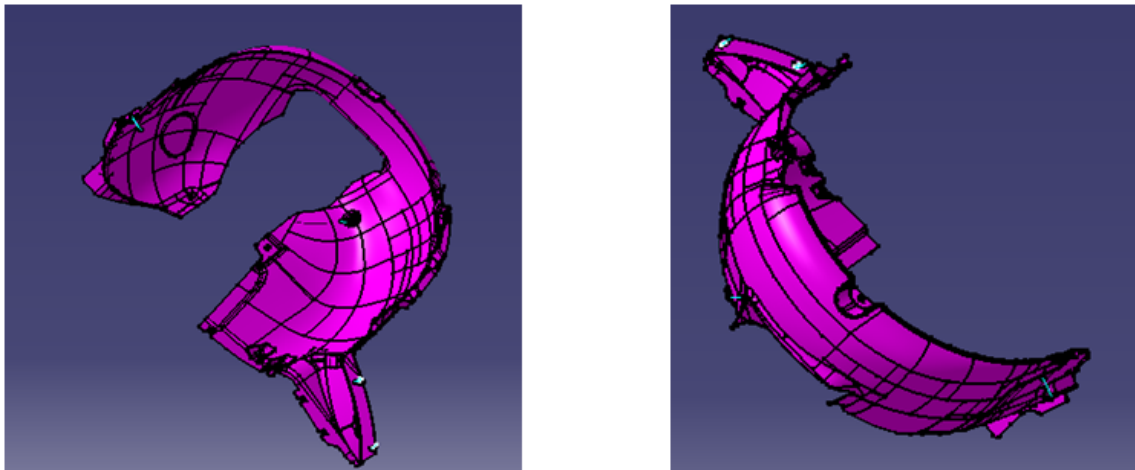


Figura 18. Disseny Gràfic del Pas de Roda.

En nostre cas els clients d'automoció accepten un màxim de 5% de peces defectuoses.

En el cas d'un pas de roda, la defectologia a tenir en compte serà l'eliminació de restes de material sobrant que pugui quedar a les extremitats de la peça (col·loquialment conegudes com "rebaves"). O les possibles concavitats produïdes per la falta de material durant l'injecció (col·loquialment conegudes com "rechupes"), i utilitzar com a matèria Polipropilè de qualitat suficient d'acord amb els estàndards d'automoció.

6.1.2. Construcció del motlle.

Un cop tinguem la geometria de la peça ben definida, li fem les transformacions necessàries per construir el motlle. Haurem d'ubicar molt bé els punts d'injecció de material. A l'hora de fer el disseny de la cavitat haurem de tenir en compte que les dimensions calculades es corresponen amb la tolerància dimensional que exigeix el client un cop la peça estigui acabada.

En les figures següents podem observar el disseny de la cavitat, conjuntament amb els punts d'injecció. En les figures següents podrem observar els quatre punts d'injecció requerits per poder complir els estàndards de qualitat. Moltes vegades hi ha peces que tenen una diferent composició en la seva geometria (Faros posteriors dels cotxes), això s'aconsegueix utilitzant un sistema de doble injecció i la instal·lació de càmeres calentes al motlle. Aquestes últimes no són més que resistències elèctriques que s'activen d'una manera seqüencial per poder repartir les diferents composicions en zones concretes de la cavitat en funció del temps.

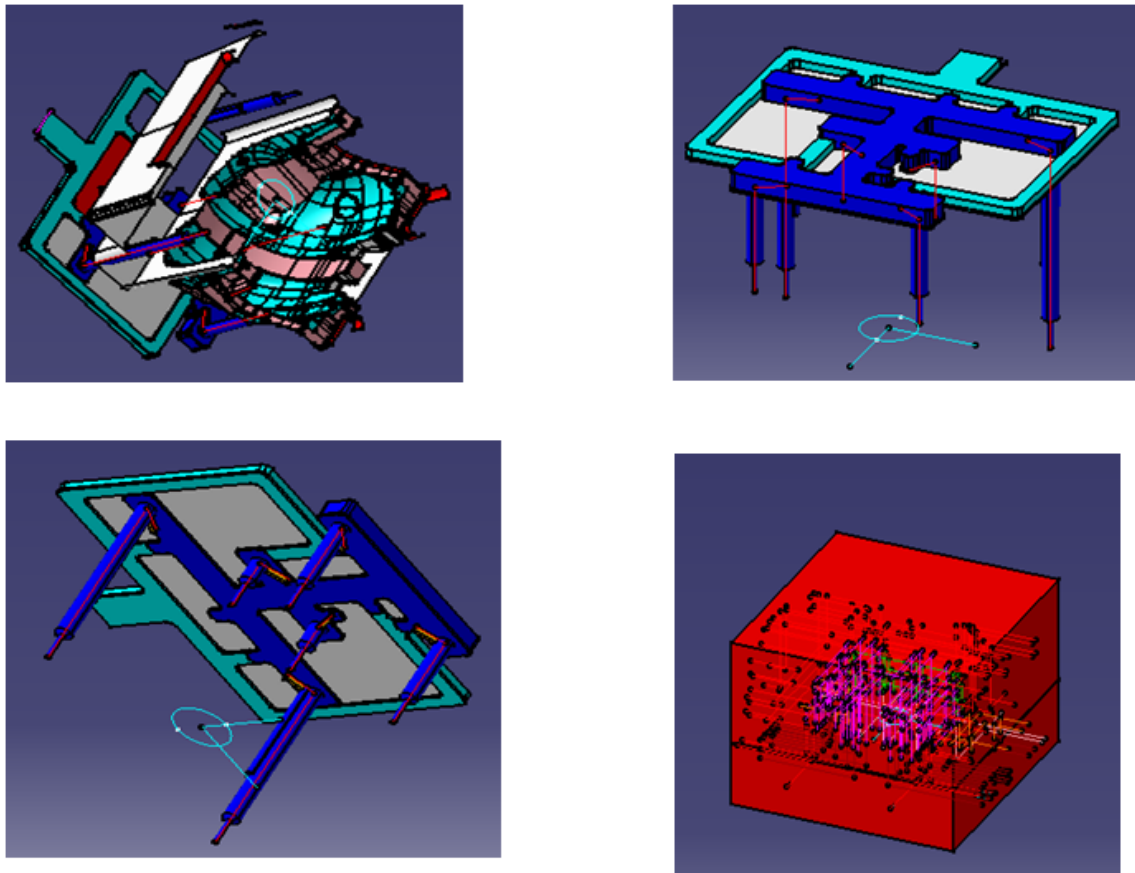


Figura 19. Disseny de motlle i cavitats.

6.1.3. Sistema de refrigeració

Per poder escurçar el temps d'injecció, reduir contraccions volumètriques i la generació de punts calents serà necessari la construcció d'un sistema de refrigeració al voltant de la cavitat. En el nostre cas constarà de múltiples punts d'injecció d'aigua procedent del nostre sistema de refrigeració de motlles. Aquest és un del processos de construcció de motlle de més dificultat tècnica a nivell de construcció que pot encarir enormement el cost de producció del motlle. En les figures següents s'observen els dissenys proposats de sistema de refrigeració.

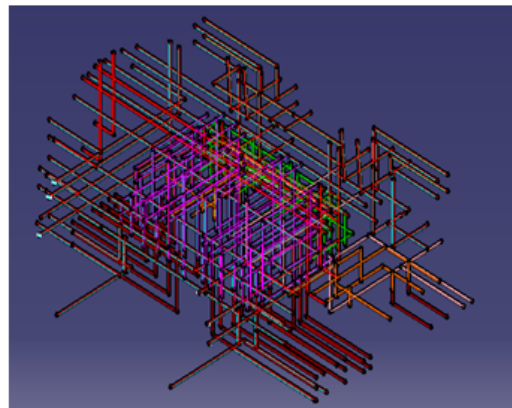
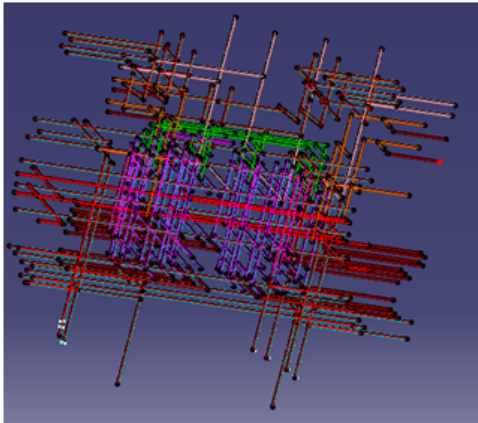
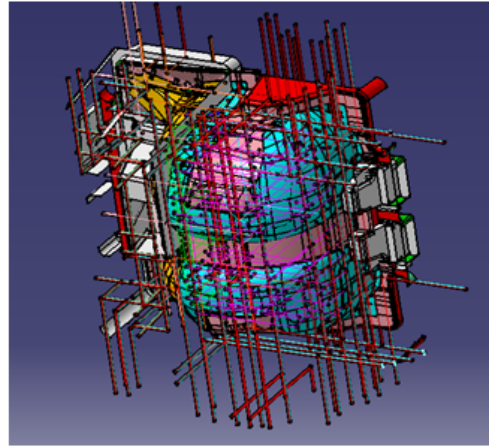
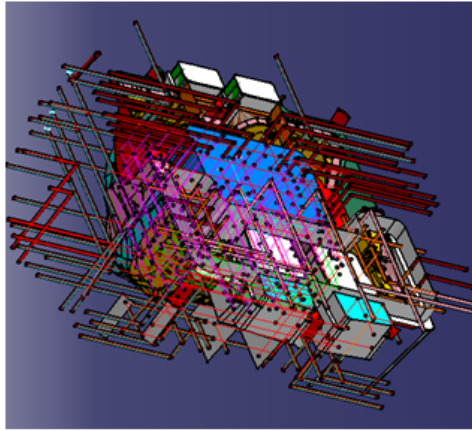


Figura 20. diseny del sistema del refrigeració del motlle.

6.2. Estudi reològic de la peça.

El disseny d'una peça de plàstic és un procés de gran complexitat, en el que s'han de conèixer els requisits funcionals de la peça conjuntament amb les propietats mecàniques del material. Així com les condicions a les quals la peça estarà sotmesa durant la seva vida de servei. Previ a la construcció del motlle serà necessari simular el procés mitjançant un estudi reològic, el qual ens estalviarà temps i diners.

Per avaluar com seria l'estudi previ del procés hem agafat el model d'un rodet ja que per qüestions de seguretat industrial no ha sigut possible mostrar els resultats del pas de roda anteriorment referenciat en l'apartat 6. Es comença obtenint la geometria de la peça a partir d'un fitxer informàtic importat des d'un programa de disseny gràfic ja sigui CAD, CATIA....etc. Posteriorment aquesta geometria es veurà modificada pel processador per realitzar una correcta modelització. Aquestes modificacions solen ser a nivell de composicions, punts d'injecció de la mescla, espessor de la carcassa y modificació del circuit de refrigeració.

En la figura següent s'observa el dibuix d'una peça, amb el circuit de refrigeració i els punts d'injecció de material.

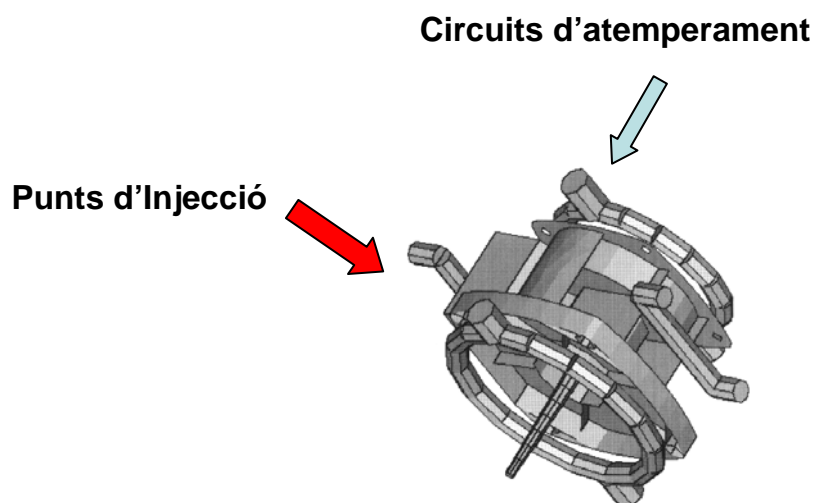


Figura 21. Exemple . Peça, circuit de refrigeració i punts d'injecció.

Per comprovar la viabilitat del nostre procés haurem de comprovar si per la geometria en qüestió les condicions proposades son correctes. En els següents apartats avaluarem els principals factors que poden afectar el nostre procés productiu.

6.2.1. Temps d'injecció

El temps òptim d'injecció va directament relacionat pressió de injecció. Aquestes modificacions afecten directament la capacitat productiva de la planta

L'evolució d'un procés d'injecció s'interpreta de la següent manera: els colors vermells son les parts del motlle que tardaran més en emplenar-se, i els colors més blaus corresponen als punts de la cavitat on el material és diposita primer.

En el nostre exemple podem observar que les zones que més tardaran en emplenar-se són les parts exteriors de la cavitat del motlle a més a més l'emplena't de la peça no es produeix ambdós costats de la peça d'una manera igual, però podem considerar que amb la pressió de treball proposada el flux de la peça és troba ben equilibrat, cosa que afavoreix una bona estabilitat dimensional.

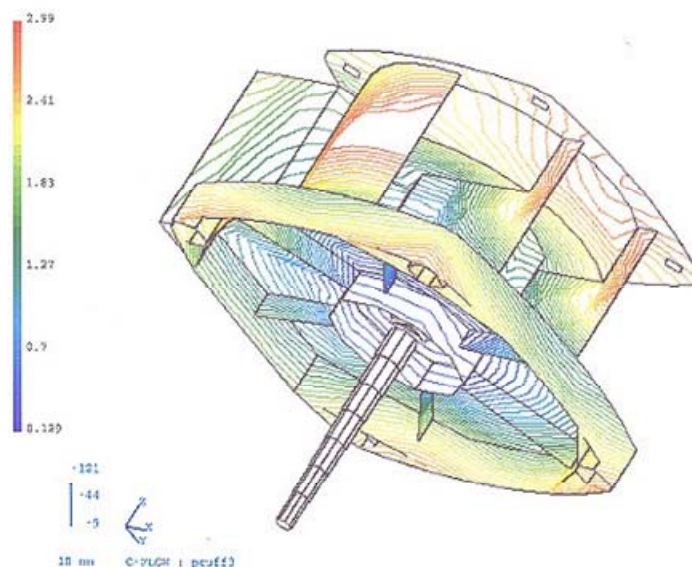


Figura 22. Injecció en funció del temps.

La situació de les línies de soldadura no revesteix de vital importància. En el nostre cas els espessors son suficientment elevats així com les seves temperatures d'unió.

6.2.2. Refrigeració del motlle

El disseny del circuit de refrigeració del motlle és molt important a l'hora de fer el procés més econòmic. En funció de la seva complexitat el procés és pot encarir ostensiblement. No només serà necessari establir una geometria concreta sinó que moltes vegades s'haurà de modificar el flux per poder extreure el calor més rapidament i evitar la formació de punts calents.

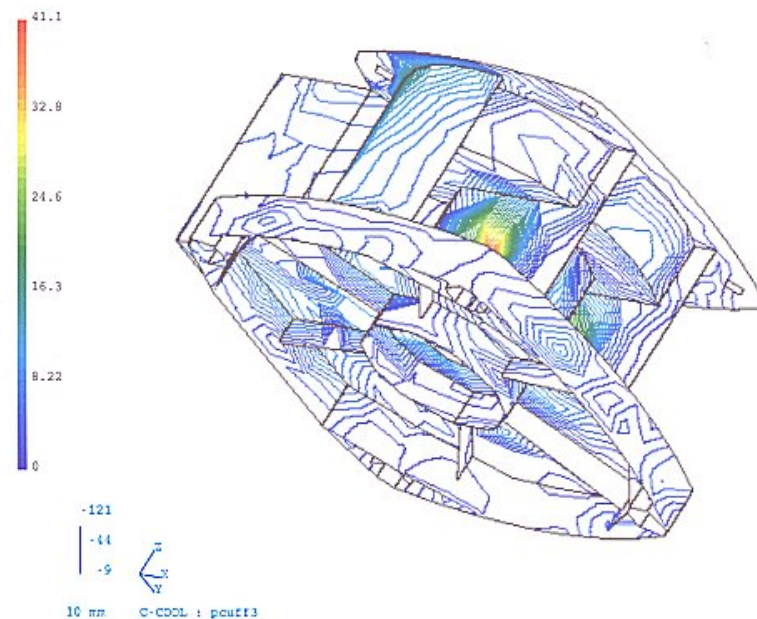


Figura 23. Perfil Termic del procés d'injecció.

En el nostre procés podem observar un arrofredament asimètric que provocarà la generació de tensions residuals al centre de la peça.

Aquesta petita deficiència de refrigeració és difícil de solucionar per la pròpia geometria de la peça i disposició del motlle. En aquest cas la nostra peça no patirà ni grans esforços axials ni rotatius, per tant la possible defectologia la centre de la peça no serà gaire important.

6.2.3. Contracció volumètrica

Un cop hem escollit el temps per cada procés i hem considerat que la peça està ben refrigerada també hem de comprovar si la nostra peça compleix les toleràncies dimensionals. Haurem d'avaluar si les diferències dimensionals entre la peça dissenyada i la peça un cop processada no interfereixin en que la peça pugui complir les seves funcions.

Amb el temps escollit no s'observa reflux de material. No obstant, com s'observa en la figura següent, la contracció volumètrica és elevada als extrems de la peça. Molts dels punts exteriors de la peça es troben allunyats de punts d'injecció. Hi hauria dues maneres de reduir les possibles conseqüències d'aquest problema. Augmentar la pressió d'injecció i en alguns casos augmentar els punts d'injecció de material.

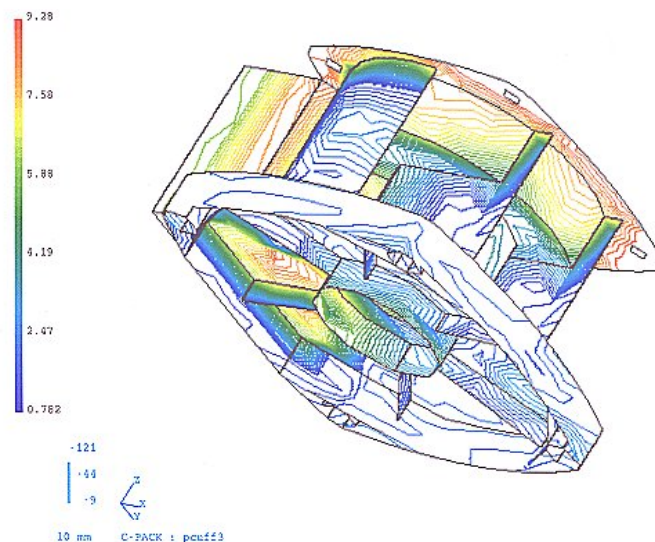


Figura 24. Contracció volumètrica.

En el següent gràfic podem observar les diferències entre la geometria esperada i la geometria obtinguda un cop simulat el procés per cadascuna de les regions de la peça. Com podem veure en el gràfic d'aquesta figura la peça conserva les dimensions desitjades i podrà ser encaixada dins de la seva ubicació.

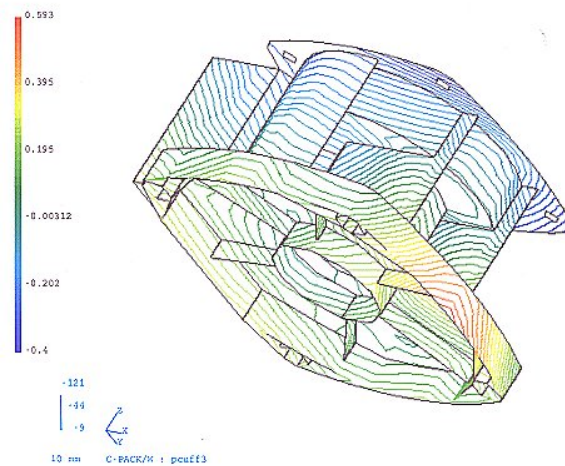


Figura 25. Ajust dimensional.

7. Teoria del transport hidràulic de sòlids

7.1.Introducció

Transportar pneumàticament un producte a granel, es introduir en un tub, grans o pols del sòlid en una corrent de gas (aire en la majoria de los casos.). En principi es poden transportar tot tipus de sòlids a granel amb granulometries de fins 10-12 mm.

7.2.Avantatges i desavantatges del transport pneumàtic

Facilitat de traçat de les línies de transport. Es poden salvar obstacles de forma senzilla.

Possibilitat de transportar una ampla gama de productes per una mateixa línia.

Facilitat de recol·lecció en diferents punts de la línia.

Facilitat de manteniment. (En comparació a altres sistemes mecànics, com són les cintes transportadores.)

Baix cost per metre lineal.

Les desavantatges del transport pneumàtic davant d'altres tipus de transport de materials en pols són les següents: Dificultat de càlcul i en alguns casos deteriorament del material transportat.

7.3. Elements del sistema de transport

Element generador de pressió: Es l'encarregat de subministrar l'energia mecànica necessària al gas perquè aquests pugui arrastrar el sòlid. En el nostre cas seleccionarem un sistema de bufadores per generar la pressió.

La línia de transport es compon d'un conjunt de canonades, corbes, bifurcacions y vàlvules. Les dimensions y característiques d'aquests elements dependrà del tipus de producte, cabal, del sòlid transportat i del gas.

Hi ha dos criteris per classificar els diferents tipus de transport:

- Transport Pneumàtic de sòlids en fase diluïda.

En la fase diluïda, requereixen grans volums de aire a alta velocitat, el gas arrastra el sòlid en suspensió, el gas i el sòlid formen una mescla heterogènia. En aquest tipus de transport els desgasts poden ser importants i les despeses energètiques son molt més grans que altres tipus de transports donada la gran quantitat de material a transportar.

- Transport Pneumàtic de sòlids en fase densa.

En fase densa el volum de aire és bastant inferior, el sòlid es transporta per impulsos d'aire formant paquets. És a dir el gas i el sòlid formen una mescla

heterogènia. Per tant és necessitarà una pressió elevada en cada impuls. La velocitat de transport i la energia consumida és més baixa, per tant el desgast és inferior. És el mode més aconsellat quan el producte és abrasiu.

Les nostres necessitats com a projecte ens demanen unes condicions de transport en fase densa. Ja que la quantitat de material a transportar no és molt gran i les condicions de manteniment són millors que les que tindriem en fase diluïda. La frontera entre aquest dos tipus de transport la fixa el valor del paràmetre conegut com: velocitat de salt (figura 26).

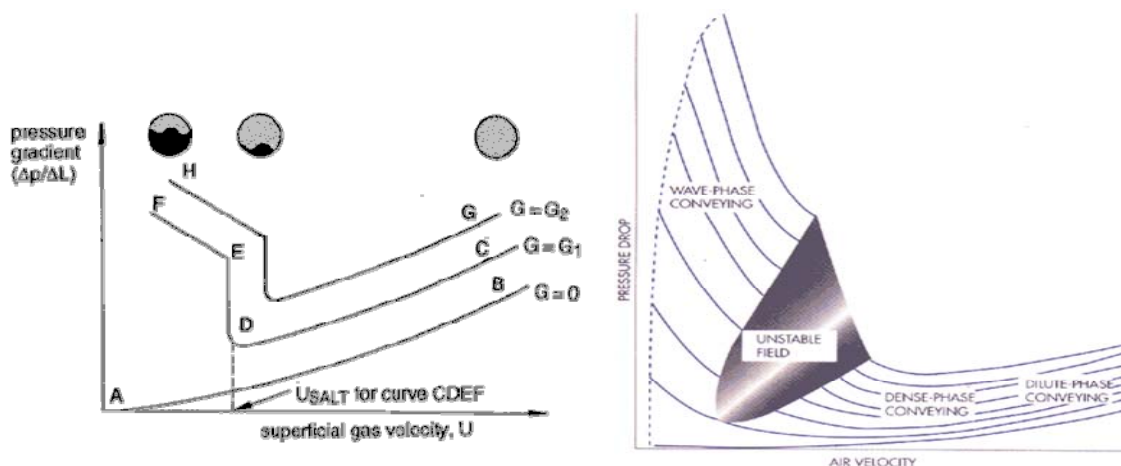


Figura 26. Frontera Fase solida- Fase densa

L'elecció de la velocitat de transport s'haurà de contrastar amb les condicions a utilitzar, i la comprovació del valor obtingut amb el valor teòric de velocitat de salt.

7.3.1. Transport pneumàtic de sòlids en fase densa.

S'ha escollit el transport pneumàtic en fase densa per transportar el gra de polipropilè de les alimentadores fins a les màquines d'injecció.

La elecció d'aquest tipus de transport és en gran mesura per les característiques que presenta el gra de polipropilè. (Segons le Groupe NEU ,ref. 5). Podem transportar grans quantitats de material, a distàncies relativament llargues >500 m. Els rangs de pressió i temperatura són mes petits que els emprats en fase diluïda, cosa que fa que necessitem bufadores i filtres de menor capacitat. D'aquesta manera aconseguim un menor consum, cosa que fa aquest tipus de transport encara més econòmic.

En gran mesura, el criteri decisiu per escollir aquest transport ve determinat segons el tipus de material a transportar. Com es pot observar en la figura 2 de la ref.6. el tipus de transport emprat per partícules de plàstic de 2 mm, serà mètode de flux polsant. Exposat en la figura 27 del nostre treball.

Per produir el flux polsant s'ha d'equipar el sistema amb un recipient a pressió. El mètode de descarrega més corrent s'efectua a través de la sortida inferior del esmentat depòsit. Addicionalment al sistema proposat, el material a transportar (en el nostre cas PP) prèviament pot esser fluïdificat per mitja d'un con airejat o algun altre sistema .

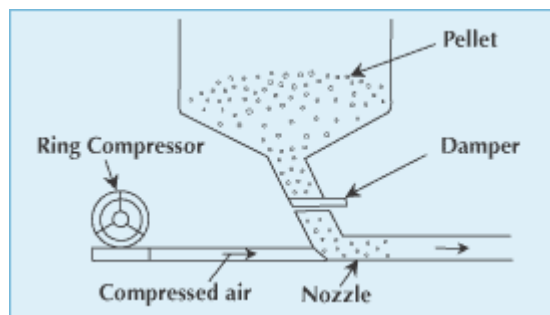


Figura 27. Recipient a pressió (ref .2).

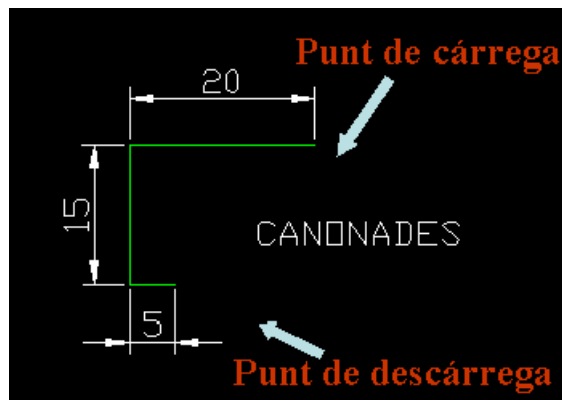
Aquest tipus de transport ha de ser de tipus discontinu.. Abans de emplenar el recipient a pressió, la Tolba d'emmagatzematge conté el material a transportar, i totes les vàlvules estan tancades. Així doncs el recipient a pressió s'emplena de pressió atmosfèrica, obrint la vàlvula de material i la venteig, fins que un indicador de nivell

actua, llavors es tanquen ambdós vàlvules. Es sotmet el recipient tancat a una pressió de treball, fins que la vàlvula de sortida sobre començant d'aquesta manera el transport de material.

En el nostre cas, el recipient de pressió anteriorment esmentat es trobarà en el punt de carga del nostre sistema. Punt del treball en el qual també aprofitem per mostrar com serà el nostre sistema de canonades. Definits en les figures 28 i 29. Els qual seran necessaris pels càlculs de pèrdues de càrrega de l'apèndix A.

<i>Trams</i>	<i>Longituds (m)</i>
1--2	20
Colze 1	
2--3	5
Colze 2	
3--4	15
Colze 3	
4--5	5
Colze 4	

Figura 28. Esquema del circuit.



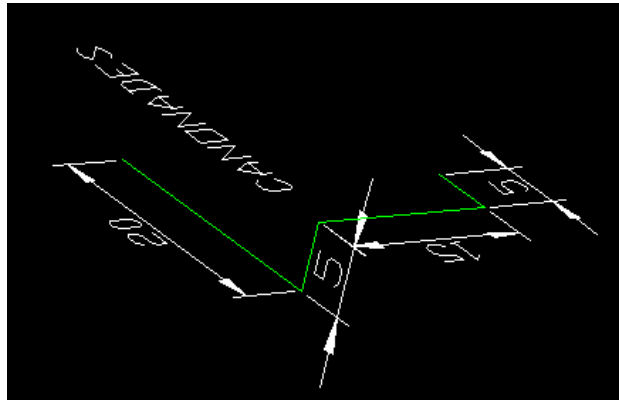


Figura 29. Detall del circuit.

Pel nostre sistema de transport optarem per un sistema de tolves per poder abastir de diferents productes a les màquines d'injecció.

Es imprescindible tenir un manteniment adequat de les instal·lacions de tots els components i accessoris en general, donada la relativa complexitat dels sistemes de valvuleria i control. Per això es necessari establir unes prioritats a l'hora de fer el disseny.

Agafem les següents condicions de la referència [5], com a base de disseny que a l'hora també s'adeqüen a la nostra producció.

	Valors
Velocitat del producte. aconsellada	1-4 m/s
Densitat de fase	150 kg PP/
Pressió màxima de treball	1 bar g
Necessitat energètica	baixa

Figura 30. Paràmetres de referència.

7.3.2. Determinació de la velocitat de transport, canonada y pressió de treball.

Per determinar la velocitat de transport del sòlid, es necessari calcular primer la velocitat de salt en les nostres condicions de treball (frontera entre la fase densa i la fase diluïda). Aquest valor haurà de ser superior a les nostres condicions de disseny.

Una vegada calculada la velocitat de salt haurem de treballar a una velocitat inferior a aquesta dins del interval de velocitats de treball descrita en l'apartat anterior [ref. 5]. Però dins de les condicions de disseny.

Per la elecció de la velocitat de transport (1-4 m/s) [ref.5], prèviament haurem de elegir dels diàmetres de canonada y les pressions de treball que volem provar (en el nostre cas de 0,1 a 1 bar g) les pressions resultants les aconseguim mitjançant el mètode Hinkle descrit en la [ref.7] on s'avaluen les diferents pèrdues de càrrega, aquests mètodes s'utilitzen per calcular la pèrdua de pressió total per transport en fase densa, a la que es sumen les pèrdues de pressió dels colzes, trams de canonada vertical y pèrdues per acceleració.

7.3.3. Càlcul de la velocitat de salt i les condicions de transport.

Per calcular la velocitat de salt en primer lloc s'han de calcular els factors alfa i beta per poder utilitzar el gràfics.

$$\beta = \left(\frac{4 \cdot g \cdot \mu_{\text{aire}}}{4 \cdot g \cdot (\rho_{\text{HPDE}} - \rho_{\text{aire}}) \cdot \rho_{\text{aire}}} \right)^{1/3} \quad \alpha = \frac{4 \cdot g \cdot \mu_{\text{aire}} \cdot (\rho_{\text{HPDE}} - \rho_{\text{aire}})}{3 \cdot \rho_{\text{aire}}}$$

Parametres	Simbol	Unitats	Valor
<i>Cabal màssic</i>	M	kg/s	1,389
<i>Diametre canonada 1</i>	D1	polsades	3,000
<i>Diametre canonada 2</i>	D2	polsades	2,500
<i>Area-1</i>	A		0,005
<i>Area-2</i>	A		0,003
<i>Velocitat Solid</i>	Vs	m/s	4,000
<i>Densitat de l'aire</i>		kg/m ³	1,127
<i>V aire</i>	Va	m/s	4,000
<i>Ratio cabal</i>		""	
<i>C</i>	C	g/RT	0,00011
<i>F</i>			0,250
<i>Ratio cabal aire/PP</i>	μ		57,031
<i>T treball</i>	T	K	313,000
<i>Constant dels gasos</i>	R	Nm/Kg*K	287,000
<i>gravetat</i>	G	m/s ²	9,800
<i>Alçada</i>	H	m	5,000

Figura 31. Paràmetres de càlcul.

<i>Diametre tuberia-1</i>	3	inch	D
<i>Diametre tuberia-2</i>	2,5	inch	D
<i>Aceleració gravitacional</i>	9,8	m/s ²	g
<i>Densitat de l'aire</i>	1,127	kg/m ³	
<i>Densitat Polipropilè</i>	961	kg/m ³	ρ _{HPDE}
<i>Diametre de la canonada</i>		cm	D
<i>Caudal màssic</i>	1,389	kg/seg	G
<i>Viscositat de l'aire</i>	0,000	Pa*S	μ (aire)
<i>Coeficient</i>	0,393		N
<i>diametre pelet</i>	2,000	mm	d cilindre
<i>diametre equivalent</i>	0,056	mm	D

Un cop hem definit les condicions de funcionament, trobem el diàmetre equivalent esfèric dels nostres “pellets” que són sòlids cilíndrics.

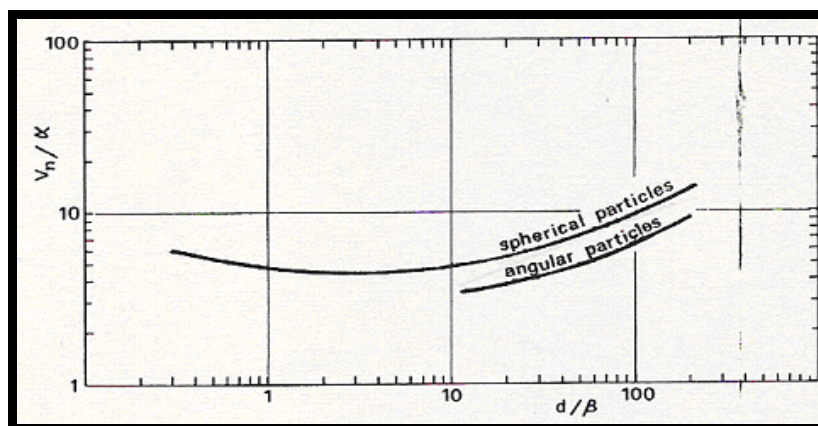


Figura 32. Paràmetres Alfa i Beta.

Els valors alfa i beta obtinguts són:

0,6287	Adimensional	factor alfa
9E-13	Adimensional	factor beta
3E+09	Adimensional	d/beta
9,4252	Adimensional	log (d/beta)
7	Adimensional	(Vn/alfa)
4,40	m/s	Vn

Figura 33. Càlculs velocitat de salt.

Els valors de velocitat de salt obtinguts s'adeqüen a les condicions de treball escollides. Tal i com podem de comparar amb el valor el valor de 4 m/s de la figura 31.

Vsn (3 ")	5,281	m/s
Vsn (2 ")	4,401	m/s

7.4.Càlculs del sistema de transport de sòlids.

Amb les dades obtingudes en l'apèndix A(Mètode de Hinkle) i resumides en les figures 15 i 16, S'ha escollit treballar a 0,4 bar g a 4 m/s y un diàmetre de canonada de 3". Amb aquests paràmetres fixats es treballa en condicions de sobrepressió (0,4 bar) per possibles augments de la pèrdua de pressió originada per la modificació del sistema o un augment de la producció.

Condicions de treball escollides:

Variables	Valors
Pressió de treball	0,4 bar
Velocitat del aire de transport	4
Diàmetre de la canonada	3 "
Temperatura de transport de l'aire.	40°C
Caudal màssic transportat	1,4 Kg/seg

Taula 14. Elecció de les condicions de treball.

Les pressions de la bufadora seran les següents

Pressió de prova (bar)	Densitat aire
0,1	1,2397
0,2	1,3524
0,3	1,4651
0,4	1,5778
0,5	1,6905
0,6	1,8032
0,7	1,9159
0,8	2,0286
0,9	2,1413
1	2,254

Taula 15. Pressions aplicades per la bufadora.

Diametre 2					
Presió de la bufadora	(kg pp/ kg aire) μ	Pd (bar)	Pa+Pb+Ph (bar)	P final (bar)	Perdues
0,1	74,66	0,1111	0,0570	-0,0681	0,16808
0,2	68,44	0,2020	0,0569	-0,0589	0,25894
0,3	63,17	0,2777	0,0567	-0,0344	0,33438
0,4	58,66	0,3417	0,0565	0,0018	0,39823
0,5	54,75	0,3966	0,0563	0,0471	0,45288
0,6	51,33	0,4441	0,0561	0,0998	0,50016
0,7	48,31	0,4856	0,0558	0,1585	0,54148
0,8	45,62	0,5223	0,0556	0,2221	0,57788
0,9	43,22	0,5549	0,0554	0,2892	0,61075
1	41,06	0,5840	0,0550	0,3609	0,63906

Taula 16. Elecció de les condicions de treball.

Diametre 1					
Presió de la bufadora	(kg pp/ kg aire) μ	Pd (bar)	Pa+Pb+Ph (bar)	P final (bar)	Perdues
0,1	51,85	0,0006	0,0509	-0,0257	0,12571
0,2	47,53	0,1364	0,0508	0,0129	0,18715
0,3	43,87	0,1879	0,0506	0,0615	0,23852
0,4	40,74	0,2317	0,0505	0,1179	0,28212
0,5	38,02	0,2693	0,0503	0,1804	0,31957
0,6	35,64	0,3020	0,0501	0,2479	0,35209
0,7	33,55	0,3307	0,0499	0,3194	0,38059
0,8	31,68	0,3560	0,0497	0,3942	0,40576
0,9	30,02	0,3786	0,0496	0,4718	0,42817
1	28,52	0,3988	0,0494	0,5518	0,44823

Taula 17. Elecció de les condicions de treball.

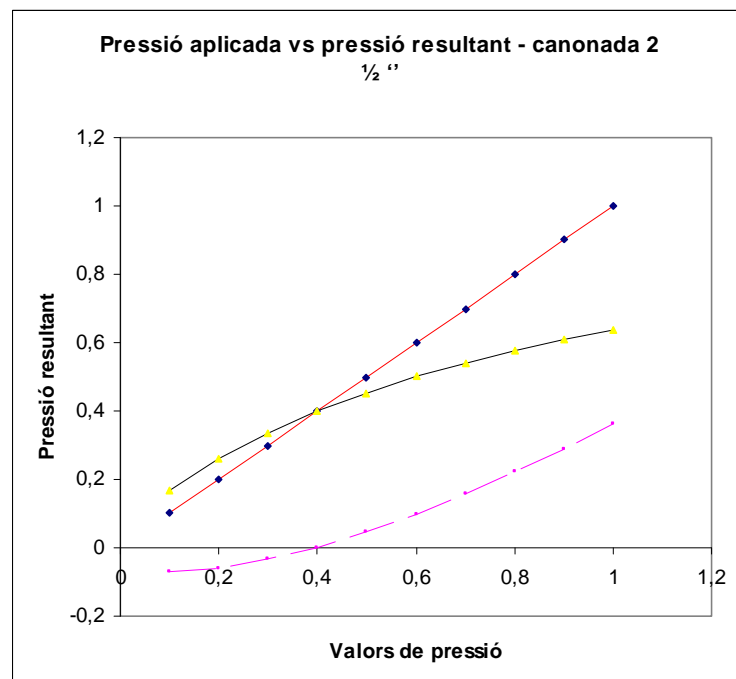
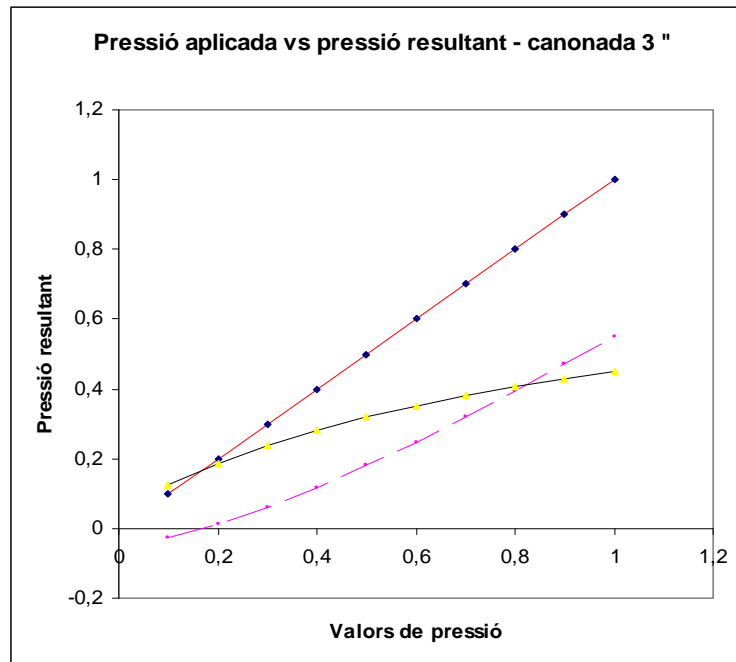


Figura 34. Representació gràfica del perdes.

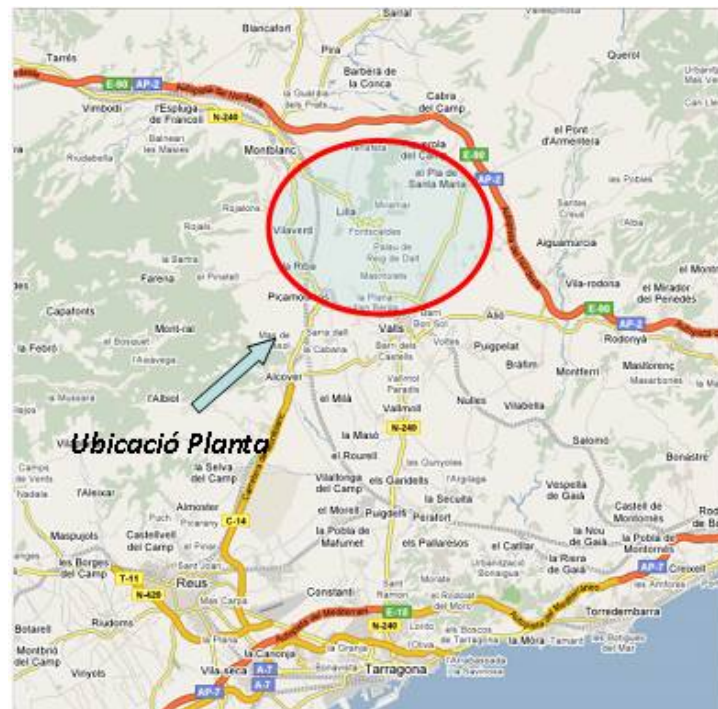
8. Viabilitat Econòmica de l'activitat.

8.1. Selecció de l'enclavament.

Triem l'enclavament de l'Alt Camp com opció preferent per un possible desenvolupament del nostre Projecte. La raó principal es perquè l'enclavament es troba situat entre les plantes de Valencia, Saragossa i Martorell, les quals son tres de les plantes productores d'automòbils mes gran de l'estat. L'altra raó de pes per establir a l'Alt Camp un centre de producció és perquè els preus de les naus industrials i dels terrenys són ostensiblement inferiors als preus existents de les grans ciutats.

Altres motius són la tradició y experiència empresarial que posseeix aquesta comarca dins de l'industria de la transformació, a més de la situació y de les bones comunicacions tan marítimes com ferroviàries, l'Alt Camp és troba situat molt a prop del polígon petroquímic de Tarragona que és un centre de fabricació de la matèria primera.

Els principals atributs referents a la comunicació són les curtes distàncies que tenim a: Martorell (70 Km), Saragossa (213 Km) y València (270 Km). Les vies de comunicació més importants que tenim són : La autopistes AP-2 y AP-7, les carreteres N-340, N-240, les vies ferroviàries convencionals i d'alta velocitat a Madrid, Barcelona y València, els port marítims de Tarragona y Barcelona.



En l'estudi de càlcul del preu de la obra inicial hem de tenir en compte la situació en la qual es trobaria la nostra planta. En l'apartat 4.6.3 el coeficient que aplicarà la construcció de la nostra obra serà de 1,15 per considerar, tot i que la nostra planta esta en una zona on el preu del sòl hem de tenir en compte que aquesta zona s'ha valoritzat bastant en els últims anys.

Si mirem els preus de mercat que actualment trobem per adquirir una nau industrial podem observar que Valls continua essent un enclavament molt afavorit per realitzar una activitat industrial Ref [4].

Preu Actual. (Eur/m2)	
Pol. Industrial Tarragona.	3000
Pol. Industrial Tarragona.	1684
Pol. Industrial Tarragona.	1151
Bràfim-Alió	739
Vila-rodona (Alt Camp)	596

Figura 35. Preus Naus a Catalunya.

8.1.1. Pressupost i inversió inicial.

La inversió inicial d'una planta d'injecció de plàstics, és elevada. Això és degut a la construcció de la nau amb les injectores a més a més s'ha de fer una instal·lació de transports de granalla i un sistema de refrigeració de tota la nostra instal·lació productiva. Per això serà necessari calcular el temps d'amortització de tota aquesta inversió inicial per saber si serà viable o no amb la situació econòmica d'avui en dia.

La forma d'avaluar el període d'amortització d'aquesta instal·lació industrial, consistirà primer en conèixer la inversió complementaria d'aquesta instal·lació. I després definir un paràmetre que caracteritzi aquesta amortització en el nostre cas la nostra fórmula serà el VAN (Valor Actual Net)

S'entén per VAN el valor actual net de una inversió, en la qual s'avalua el corrent de despeses que genera l'activitat durant un període de temps considerat.

Es defineix com:

$$VAN = -I + \frac{CF}{(1+r)} + \frac{CF}{(1+r)^2} + \frac{CF}{(1+r)^3} + \dots + \frac{CF}{(1+r)^n}$$

Essent els valors:

I: Inversió inicial.

CF: Cash Flow (corrent d'ingressos menys els costs generats en cada període d'amortització)

r: rendibilitat de la inversió.

Segons aquest criteri el mínim que s'ha de complir perquè una inversió sigui rentable el VAN ha de ser 0. Per altra part, el valor d'interès r és altament subjectiu. Es considera que s'ha de col·locar aquell interès que l'inversor pugui guanyar.

En una inversió d'aquestes característiques, considerarem que l'interès principal de l'inversor sigui el just, i per tant agafarem coma valor l'interès del diner que es de 3,5 % , menys la inflació anual, que es considera del 1,8 %, així $r=1,45\%$.

Una altra variació que hem de tenir en compte és la variació constant del preu del petroli. En aquest cas la nostra activitat conservarà el marge de benefici augmentant el preu del producte final si fos el cas.

Per calcular el cost de l'enclavament utilitzem els valors obtinguts obtenint els coeficient de la referència [ref.8]

Calcul del preu de l'enclavament		
Cost Inicial de l'enclavament a Barcelona		2.374.000,00 €
Cost Inicial de l'enclavament a Tarragona	CRP	1.416.800,00 €
Cost de referència per tipus d'edifici.	CRG	280
Coeficient de situació geogràfica	CA	1,15
Coeficient d'aportació per Innovació	CS	1,1
Coeficient de rehabilitació	CH	1
Metres quadrats edificats (80 X40)		4000

Figura 36., Preus d'edificació.

S'han tingut en compte les següents variables d'entrada [ref.9 i 3]:

Variables		
Preu PP Daplen	1,38	euros/kg
Preu PP Seculene	0,75	euros/kg
Preu PP Parilene	1,65	euros/kg
Preu PP Ciplen	1,42	euros/kg
Inflació preu del Petroli	20	%
Preu de Venta 2008	5,5	euros/peça
Producció maquina	70	peces/hora
Nº de Maquines de injecció	3	unitats
Preu de la màquina Injecció 3000 Tones	140000	euros
Consum electric per cada 620 cicles	16	kw/h
Preu del KWh industrial	7,57	euros
Cost de manteniment	800	euros/any
Any Industrial	8000	hores
Consum aproximat peça	180	kg/hora
Producció Final	210	peces/ hora

Recursos Humans		
10 treballadors de línia	16000	Euros/any
1 administrativa	16000	Euros/any
2 Encargats	30000	Euros/any
2 Enginyers de Disseny (Eng. tècnics)	35000	Euros/any
Cap de Qualitat	40000	Euros/any
Director general	40000	Euros/any
Total RRHH	180000	Euros/any

Refrigeració i transport pneumàtic	
Bombas	9.995 €
Canonades	10.000 €
Deposit	5.000 €
Toltes	10.540 €
Bufadora	10.000 €
Canonades	5.000 €
Total equipament Auxiliar	50.535 €

Tramitació legal	
Legalització de l'activitat	90.000 €
Legalització de la instal·lació elèctrica	6.000 €
Despeses de llicència i tràmits	96.000 €

Taula de costos	
Cost Inicial de l'enclavament	1.416.800 €
Recursos Humans (euros/any)	128.000 €
Despeses de llicència i tràmits	96.000 €
Equipament Auxiliar	50.535 €
Costos d'equipaments.	420.000 €
Llicències software-Moldflow, Catia	12.000 €
Costos matèria prima (euros/any)	2.376.000 €
Costos consum elèctric (euros/any)	13.842 €
Costos de Manteniment	2.400 €
Costos de Enginyeria	Inclusos dins de Recursos Humans
Inversió inicial	4.387.577 €
Cash flow anual	6.707.758 €
Ingresos en producció (euros/any)	9.240.000 €

La taula de rentabilitat ens ve anunciada en les següents figures i taules.

Any	Cash-flow 2 maquines	Cash-flow 3 maquines	VAN 2 maquines	VAN 3 maquines
1	-4.387.577 €	-4.387.577 €	xx	xx
2	6.707.758 €	6.707.758 €	-5.060.931,16 €	-5.060.931,16 €
3	6.707.758 €	6.707.758 €	-5.060.931,16 €	-5.060.931,16 €
4	6.707.758 €	6.707.758 €	-1.649.716,99 €	-1.649.716,99 €
5	6.707.758 €	6.707.758 €	-532.223,00 €	-532.223,00 €
6	6.707.758 €	6.707.758 €	-76.103,00 €	-76.103,00 €
7	6.707.758 €	9.787.000 €	110.068,43 €	110.068,43 €
8	6.707.758 €	9.787.000 €	186.056,77 €	186.056,77 €
9	6.707.758 €	9.787.000 €	217.072,42 €	231.310,36 €
10	6.707.758 €	9.787.000 €	229.731,86 €	249.781,22 €
11	6.707.758 €	9.787.000 €	234.898,99 €	257.320,34 €
12	6.707.758 €	9.787.000 €	237.008,01 €	260.397,53 €

Taula 18. Càlcul del VAN.

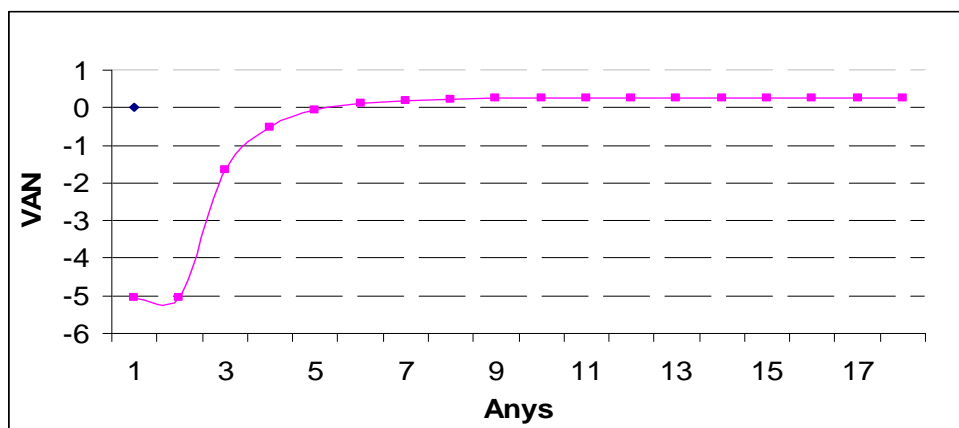


Figura 37. Evolució del VAN.

La taxa de rendibilitat TIR al 6 anys és d'un 15%, el que ens demostra la rendibilitat del nostre projecte, també s'ha de dir que als deu anys la nostra producció es queda estancada inclús augmentant la nostra productivitat amb una altra màquina. Un altre marge que haurem de tenir en compte i no tenim contemplat serien els ingressos que obtindríem procedents de la venda del disseny de processos, Asistència tècnica y de disseny gràfic industrial aplicat al sector de la injecció. Ingressos que en global podrien augmentar la facturació anual de la empresa en mig milió d'euros un cop la nostra secció d'enginyeria estigués en ple rendiment.

Plan d'organització de la producció de productes d'abastiment

1. Definició de la missió

- 1.1 Definició de la missió i objectius
 - 1.1.1 Definició de la missió i objectius
 - 1.1.2 Definició de la missió i objectius
 - 1.1.3 Definició de la missió i objectius
 - 1.1.4 Definició de la missió i objectius
 - 1.1.5 Definició de la missió i objectius

2. Disseny del sistema de refrigeració

- 2.1 Teoria i Conceptes
 - 2.1.1 Teoria i Conceptes
 - 2.1.2 Teoria i Conceptes
 - 2.1.3 Teoria i Conceptes
 - 2.1.4 Teoria i Conceptes
 - 2.1.5 Teoria i Conceptes
- 2.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
 - 2.2.1 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
 - 2.2.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
 - 2.2.3 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
 - 2.2.4 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
 - 2.2.5 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 2.3 Selecció de l'equip i el material
 - 2.3.1 Selecció de l'equip i el material
 - 2.3.2 Selecció de l'equip i el material
 - 2.3.3 Selecció de l'equip i el material
 - 2.3.4 Selecció de l'equip i el material
 - 2.3.5 Selecció de l'equip i el material
- 2.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
 - 2.4.1 Perfiles i característiques de la instal·lació
 - 2.4.2 Perfiles i característiques de la instal·lació
 - 2.4.3 Perfiles i característiques de la instal·lació
 - 2.4.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
 - 2.4.5 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 2.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
 - 2.5.1 Càlcul de les necessitats de refrigeració
 - 2.5.2 Càlcul de les necessitats de refrigeració
 - 2.5.3 Càlcul de les necessitats de refrigeració
 - 2.5.4 Càlcul de les necessitats de refrigeració
 - 2.5.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 2.6 Disseny de la placa
 - 2.6.1 Disseny de la placa
 - 2.6.2 Disseny de la placa
 - 2.6.3 Disseny de la placa
 - 2.6.4 Disseny de la placa
 - 2.6.5 Disseny de la placa
- 2.7 Justificació operativa
 - 2.7.1 Justificació operativa
 - 2.7.2 Justificació operativa
 - 2.7.3 Justificació operativa
 - 2.7.4 Justificació operativa
 - 2.7.5 Justificació operativa

3. Disseny de la placa

- 3.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 3.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 3.3 Selecció de l'equip i el material
- 3.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 3.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 3.6 Disseny de la placa
- 3.7 Justificació operativa

4. Disseny de la placa

- 4.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 4.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 4.3 Selecció de l'equip i el material
- 4.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 4.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 4.6 Disseny de la placa
- 4.7 Justificació operativa

5. Disseny de la placa

- 5.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 5.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 5.3 Selecció de l'equip i el material
- 5.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 5.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 5.6 Disseny de la placa
- 5.7 Justificació operativa

6. Disseny de la placa

- 6.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 6.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 6.3 Selecció de l'equip i el material
- 6.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 6.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 6.6 Disseny de la placa
- 6.7 Justificació operativa

7. Disseny de la placa

- 7.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 7.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 7.3 Selecció de l'equip i el material
- 7.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 7.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 7.6 Disseny de la placa
- 7.7 Justificació operativa

8. Disseny de la placa

- 8.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 8.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 8.3 Selecció de l'equip i el material
- 8.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 8.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 8.6 Disseny de la placa
- 8.7 Justificació operativa

9. Disseny de la placa

- 9.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 9.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 9.3 Selecció de l'equip i el material
- 9.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 9.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 9.6 Disseny de la placa
- 9.7 Justificació operativa

10. Disseny de la placa

- 10.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 10.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 10.3 Selecció de l'equip i el material
- 10.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 10.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 10.6 Disseny de la placa
- 10.7 Justificació operativa

11. Disseny de la placa

- 11.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 11.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 11.3 Selecció de l'equip i el material
- 11.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 11.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 11.6 Disseny de la placa
- 11.7 Justificació operativa

12. Disseny de la placa

- 12.1 Teoria i Conceptes (Fase de disseny, fase de disseny, fase de disseny...)
- 12.2 Anàlisi de les condicions de refrigeració del sistema
- 12.3 Selecció de l'equip i el material
- 12.4 Perfiles i característiques de la instal·lació
- 12.5 Càlcul de les necessitats de refrigeració
- 12.6 Disseny de la placa
- 12.7 Justificació operativa

10. Conclusió.

Hem descrit com s'ha de plantejar la construcció d'una planta de producció de termoplàstics dins del nostre territori que es pugui adaptar al mercat tant competitiu que existeix actualment.

Per poder fer realitat la nostra planta falten per completar els següents aspectes :

Una selecció minuciosa del material, on es destaquen:

Poder dur a terme el transport pneumàtic de la matèria prima necessitarà seleccionar una bufadora que compleixi les característiques de la taula 14 de la pàgina 61.

Les bombes de refrigeració de les màquines d'injecció hauran de poder subministrar un cabal de 13000 l/h a 98 metres d'alçada.

Les bombes de refrigeració dels motlles hauran de poder subministrar un cabal de 5000 l/h a 42 metres d'alçada.

Falta fer un estudi de l'enginyeria d'obra civil i un disseny complet de tota la instal·lació elèctrica.

Però a dia d'avui, les últimes pujades del preu de la matèria prima han afectat a la viabilitat econòmica de la nostra activitat, la rendibilitat s'ha reduït gairebé a la meitat. I per tant, aquesta falta de rendibilitat fa que sigui molt difícil que iniciatives com la nostra es puguin dur a terme en el futur, on el preu de la matèria primera tindrà una tendència ascendent, tal i com han pronosticat les firmes energètiques i grups inversors..

11. Bibliografia.

1- www.seat.com, www.ford.com .

2- www.icispricing.com

3- Metodo de determinación de los: “costes de referencia de edificación”. Consejería de Medio ambiente de la Comunidad de Madrid DGAV- Metodo CR (2006).

4- <http://mediambient.gencat.net/> (Departament de Medi ambient i habitatge)

5- Catàleg , Le groupe NEU. “Pneumàtic Materials Handling and Processing”

6- Revista Ingeniería Química, Nº 45 Febrer de 1993.

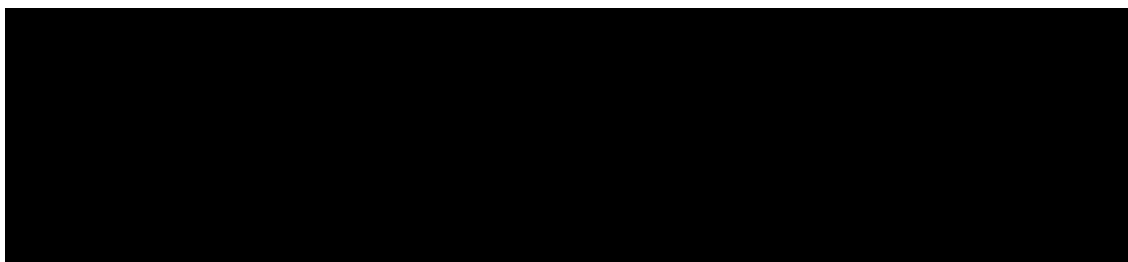
7-Plastics Pneumatic Conveying and Bulk Storage. Edited by G.Butters.

8-Conveni Siderometalurgia de Tarragona.

12. Apendix

12.1. A.1 Càlculs de Transport Pneumàtic (Metode Hinkle).

12.1.1. Càlculs per canonades de 3"



Ap. Taula 1. Pols de pressió 0,1 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,2				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,049	0,040			0,000
Colze 1	25	0	1,035	0,028		0,003	
2--3	22,5	5	1,032	0,025	0,037		
Colze 2	20	0	1,028	0,022		0,003	
3--4	12,5	15	1,018	0,013			
Colze 3	5	0	1,007	0,005		0,003	
4--5	2,5	5	1,004	0,003			
Colze 4	1	0	1,001	0,001		0,003	
		45	Sumatoris	0,136	0,037	0,013	0,000
			P final (bar)	0,0129	Dif. Pre.	0,06363	

Ap. Taula 2. Pols de pressió 0,2 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,3				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,087	0,0547			0,0003
Colze 1	25	0	1,062	0,0381		0,0032	
2--3	22,5	5	1,056	0,0341	0,0373		
Colze 2	20	0	1,050	0,0301		0,0032	
3--4	12,5	15	1,031	0,0185			
Colze 3	5	0	1,012	0,0073		0,0033	
4--5	2,5	5	1,006	0,0036			
Colze 4	1	0	1,002	0,0014		0,0033	
		45	Sumatoris	0,1879	0,0373	0,0130	0,0003
			P final (bar)	0,0615	Dif. Pre.	0,11211	

Ap. Taula 3. Pols de pressió 0,3 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,4				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,131	0,067			0,000
Colze 1	25	0	1,094	0,047		0,003	
2--3	22,5	5	1,084	0,042	0,037		
Colze 2	20	0	1,075	0,037		0,003	
3--4	12,5	15	1,047	0,023			
Colze 3	5	0	1,019	0,009		0,003	
4--5	2,5	5	1,009	0,004			
Colze 4	1	0	1,004	0,002		0,003	
		45	Sumatoris	0,2317	0,0373	0,0128	0,0003
		P final (bar)	0,1179	Dif. Pre.	0,16835		

Ap. Taula 4. Pols de Pressió 0,4 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,4				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,131	0,067			0,000
Colze 1	25	0	1,094	0,047		0,003	
2--3	22,5	5	1,084	0,042	0,037		
Colze 2	20	0	1,075	0,037		0,003	
3--4	12,5	15	1,047	0,023			
Colze 3	5	0	1,019	0,009		0,003	
4--5	2,5	5	1,009	0,004			
Colze 4	1	0	1,004	0,002		0,003	
		45	Sumatoris	0,2317	0,0373	0,0128	0,0003
		P final (bar)	0,1179	Dif. Pre.	0,16835		

Ap. Taula 5. Pols de Pressió 0,5 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,6				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,2318	0,0875			0,0003
Colze 1	25	0	1,1656	0,0613		0,0029	
2--3	22,5	5	1,1490	0,0549	0,0373		
Colze 2	20	0	1,1325	0,0485		0,0030	
3--4	12,5	15	1,0828	0,0299			
Colze 3	5	0	1,0331	0,0118		0,0033	
4--5	2,5	5	1,0166	0,0059			
Colze 4	1	0	1,0066	0,0023		0,0033	
		45	Sumatoris	0,3020	0,0373	0,0125	0,0003
		P final (bar)	0,2479	Dif. Pre.	0,29802		

Ap. Taula 6. Pols de Pressió 0,6 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,7				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,287	0,096			0,000
Colze 1	25	0	1,205	0,067		0,003	
2--3	22,5	5	1,185	0,060	0,037		
Colze 2	20	0	1,164	0,053		0,003	
3--4	12,5	15	1,103	0,033			
Colze 3	5	0	1,041	0,013		0,003	
4--5	2,5	5	1,021	0,006			
Colze 4	1	0	1,008	0,003		0,003	
		45	Sumatoris	0,331	0,037	0,012	0,000
		P final (bar)	0,3194	Dif. Pre.	0,36933		

Ap. Taula 7. Pols de Pressió 0,7 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,8				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,345	0,103			0,000
Colze 1	25	0	1,247	0,072		0,003	
2--3	22,5	5	1,222	0,065	0,037		
Colze 2	20	0	1,197	0,057		0,003	
3--4	12,5	15	1,123	0,035			
Colze 3	5	0	1,049	0,014		0,003	
4--5	2,5	5	1,025	0,007			
Colze 4	1	0	1,010	0,003		0,003	
		45	Sumatoris	0,356	0,037	0,012	0,000
		P final (bar)	0,3942	Dif. Pre.	0,44397		

Ap. Taula 8. Pols de Pressió 0,8 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	0,9				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,406	0,109			0,000
Colze 1	25	0	1,290	0,077		0,003	
2--3	22,5	5	1,261	0,069	0,037		
Colze 2	20	0	1,232	0,061		0,003	
3--4	12,5	15	1,145	0,038			
Colze 3	5	0	1,058	0,015		0,003	
4--5	2,5	5	1,029	0,007			
Colze 4	1	0	1,012	0,003		0,003	
		45	Sumatoris	0,379	0,037	0,012	0,000
		P final (bar)	0,4718	Dif. Pre.	0,52139		

Ap. Taula 9. Pols de pressió 0,9 bar.

Diametre 1 (polsada)	3	P inicial (bar)	1				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,468	0,115			0,000
Colze 1	25	0	1,334	0,081		0,003	
2--3	22,5	5	1,301	0,073	0,037		
Colze 2	20	0	1,267	0,064		0,003	
3--4	12,5	15	1,167	0,040			
Colze 3	5	0	1,067	0,016		0,003	
4--5	2,5	5	1,033	0,008			
Colze 4	1	0	1,013	0,003		0,003	
		45	Sumatoris	0,399	0,037	0,012	0,000
			P final (bar)	0,5518	Dif. Pre.	0,60115	

Ap. Taula 10. Pols de Pressió 1 bar.

12.1.2. Càlculs per canonades de 2^{1/2}''

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,1				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	0,991	0,033			0,000
Colze 1	25	0	0,994	0,023		0,005	
2--3	22,5	5	0,994	0,020	0,037		
Colze 2	20	0	0,995	0,018		0,005	
3--4	12,5	15	0,997	0,011			
Colze 3	5	0	0,999	0,004		0,005	
4--5	2,5	5	0,999	0,002			
Colze 4	1	0	1,000	0,001		0,005	
		45	Sumatoris	0,1111	0,0373	0,0192	0,0005
			P final (bar)	-0,0681	Dif. Pre.	-0,01112	

Ap. Taula 11. Pols de pressió 0,1 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,2				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	0,998	0,060			0,000
Colze 1	25	0	0,999	0,041		0,005	
2--3	22,5	5	0,999	0,037	0,037		
Colze 2	20	0	0,999	0,032		0,005	
3--4	12,5	15	0,999	0,020			
Colze 3	5	0	1,000	0,008		0,005	
4--5	2,5	5	1,000	0,004			
Colze 4	1	0	1,000	0,001		0,005	
		45	Sumatoris	0,2020	0,0373	0,0191	0,0005
			P final (bar)	-0,0589	Dif. Pre.	-0,00200	

Ap. Taula 12. Pols de pressió 0,2 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,3				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,017	0,082			0,000
Colze 1	25	0	1,012	0,056		0,005	
2--3	22,5	5	1,011	0,050	0,037		
Colze 2	20	0	1,010	0,044		0,005	
3--4	12,5	15	1,006	0,027			
Colze 3	5	0	1,002	0,011		0,005	
4--5	2,5	5	1,001	0,005			
Colze 4	1	0	1,000	0,002		0,005	
		45	Sumatoris	0,278	0,037	0,019	0,000
		P final (bar)	-0,0344	Dif. Pre.	0,02230		

Ap. Taula 13. Pols de pressió 0,3 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,4				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,045	0,100			0,000
Colze 1	25	0	1,032	0,069		0,005	
2--3	22,5	5	1,029	0,062	0,037		
Colze 2	20	0	1,026	0,055		0,005	
3--4	12,5	15	1,016	0,033			
Colze 3	5	0	1,006	0,013		0,005	
4--5	2,5	5	1,003	0,006			
Colze 4	1	0	1,001	0,003		0,005	
		45	Sumatoris	0,342	0,037	0,019	0,000
		P final (bar)	0,0018	Dif. Pre.	0,05828		

Ap. Taula 14. Pols de pressió de 0,4 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,5				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,080	0,116			0,000
Colze 1	25	0	1,057	0,081		0,005	
2--3	22,5	5	1,052	0,072	0,037		
Colze 2	20	0	1,046	0,063		0,005	
3--4	12,5	15	1,029	0,039			
Colze 3	5	0	1,011	0,015		0,005	
4--5	2,5	5	1,006	0,008			
Colze 4	1	0	1,002	0,003		0,005	
		45	Sumatoris	0,397	0,037	0,019	0,000
		P final (bar)	0,0471	Dif. Pre.	0,10343		

Ap. Taula 15. Pols de pressió 0,5 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,6				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,121	0,130			0,000
Colze 1	25	0	1,087	0,090		0,004	
2--3	22,5	5	1,078	0,081	0,037		
Colze 2	20	0	1,069	0,071		0,004	
3--4	12,5	15	1,043	0,044			
Colze 3	5	0	1,017	0,017		0,005	
4--5	2,5	5	1,009	0,008			
Colze 4	1	0	1,003	0,003		0,005	
		45	Sumatoris	0,4441	0,0373	0,0184	0,0003
		P final (bar)	0,0998	Dif. Pre.	0,15591		

Ap. Taula 16. Pols de pressió 0,6 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,7				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,167	0,142			0,000
Colze 1	25	0	1,119	0,099		0,004	
2--3	22,5	5	1,107	0,088	0,037		
Colze 2	20	0	1,095	0,078		0,004	
3--4	12,5	15	1,060	0,048			
Colze 3	5	0	1,024	0,019		0,005	
4--5	2,5	5	1,012	0,009			
Colze 4	1	0	1,005	0,004		0,005	
		45	Sumatoris	0,4856	0,0373	0,0182	0,0003
		P final (bar)	0,1585	Dif. Pre.	0,21435		

Ap. Taula 17. Pols de pressió 0,7 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,8				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,216	0,152			0,000
Colze 1	25	0	1,154	0,106		0,004	
2--3	22,5	5	1,139	0,095	0,037		
Colze 2	20	0	1,123	0,084		0,004	
3--4	12,5	15	1,077	0,051			
Colze 3	5	0	1,031	0,020		0,005	
4--5	2,5	5	1,015	0,010			
Colze 4	1	0	1,006	0,004		0,005	
		45	Sumatoris	0,522	0,037	0,018	0,000
		P final (bar)	0,2221	Dif. Pre.	0,27769		

Ap. Taula 18. Pols de presió 0,8 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	0,9				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,26842	0,1615			0,00034
Colze 1	25	0	1,119	0,113		0,004	
2--3	22,5	5	1,107	0,101	0,037		
Colze 2	20	0	1,095	0,089		0,004	
3--4	12,5	15	1,060	0,055			
Colze 3	5	0	1,024	0,021		0,005	
4--5	2,5	5	1,012	0,011			
Colze 4	1	0	1,005	0,004		0,005	
		45	Sumatoris	0,555	0,037	0,018	0,000
		P final (bar)	0,2892	Dif. Pre.	0,34512		

Ap. Taula 19. Pols de presió 0,9 bar.

Diametre 2 (polsada)	2,5	P inicial (bar)	1				
Tram	x(m)	L (m)	Presió tram (atm)	Pd (bar)	Ph (bar)	Pb (bar)	Pa (bar)
1--2	35	20	1,324	0,170			0,000
Colze 1	25	0	1,231	0,119		0,004	
2--3	22,5	5	1,208	0,106	0,037		
Colze 2	20	0	1,185	0,094		0,004	
3--4	12,5	15	1,116	0,058			
Colze 3	5	0	1,046	0,023		0,005	
4--5	2,5	5	1,023	0,011			
Colze 4	1	0	1,009	0,004		0,005	
		45	Sumatoris	0,5840	0,0373	0,0174	0,0003
		P final (bar)	0,3609	Dif. Pre.	0,41598		

Ap. Taula 20. Pols de pressió 1 bar.

12.1.3. Metode de Hinkle. [ref 5,6 i 7]

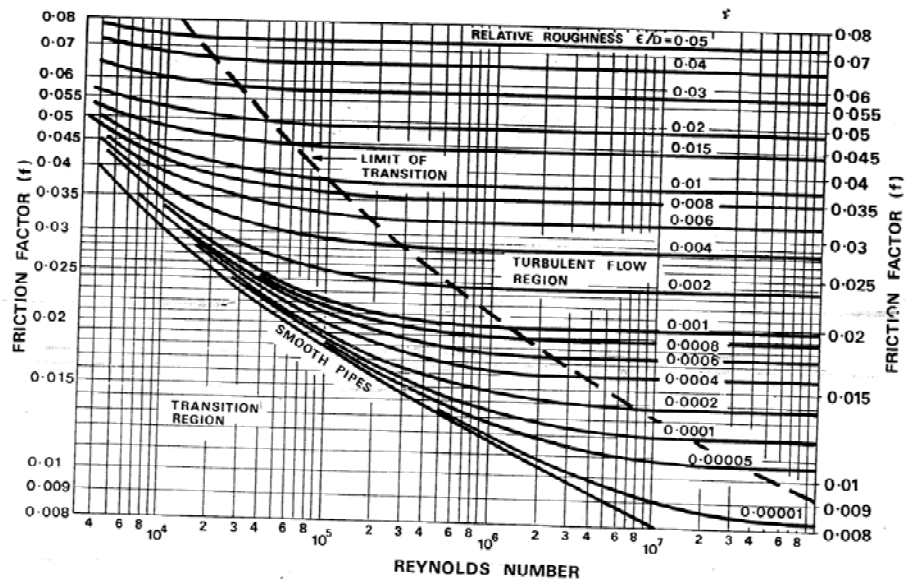


Figura 38. Digrama de Moody.

$$\text{horizontal } f_s = 0.117 \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \left[(1-\varepsilon) \frac{(Re)_t}{(Re)_s} \frac{U_a}{\sqrt{gD}} \right]^{-1.15}$$

$$\text{vertical } f_s = 0.0126 \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \left[(1-\varepsilon) \frac{(Re)_t}{(Re)_s} \right]^{-0.979}$$

Taula 19. Obtenció del n° de Reynolds en transport pneumàtic.

$$\Delta P_d = P_o [\exp(\mu C \tan \phi L) - 1]$$

Figura 39. Calcul dels increments de pressió

Tipo de Perdidas	Formula
Perdidas verticales	$\Delta P_H = \frac{MHg}{A U_s}$
Perdidas horizontales	$\Delta P_A = \frac{M U_s}{A}$
Perdidas por codos	$\Delta P_B = F_3 (1 + \mu) \frac{\rho_a U_a^2}{2}$

$$\rho_m = \frac{(\text{mass of air}) + (\text{mass of powder})}{(\text{volume of air at pipe conditions}) + (\text{volume of powder})}$$

Figura 40. Densitat aplicada

12.2. A.2 Planols.